

Aus der Klinik für Strahlendiagnostik
Direktor: Professor Dr. Klaus Jochen Klose

Medizinisches Zentrum für Radiologie
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

E-Learning in der medizinischen Ausbildung – Ein Vergleich der Medien Onlinekurs und PDF

Computer basiertes Lernen im Rahmen der medizinischen Ausbildung im
Fachbereich Radiologie der Philipps-Universität Marburg

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der
gesamten Humanmedizin,
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Christoph Sebastian Pabst
aus Rotenburg/Wümme
Marburg, 2010

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 17.02.2010

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan:	Prof. Dr. Matthias Rothmund
Referent:	Prof. Dr. Klaus Jochen Klose
1. Korreferent:	Prof. Dr. Jochen Alfred Werner

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1 k-MED (www.k-med.org).....	1
1.1.1 Lern-Management-System (LMS).....	1
1.1.2 Aufbau der Onlinekurse.....	2
1.1.3 Angebote für die Medizinische Ausbildung.....	2
1.1.4 k-MED im Fachbereich Radiologie.....	3
1.2 Begriffserklärung E-Learning / Onlinekurs	4
1.2.1 E-Learning	4
1.2.2 Computer basiertes Lernen.....	4
1.2.3 Onlinekurs	5
1.3 Begriffserklärung Lernskript / PDF	5
1.3.1 Lernskript	5
1.3.2 PDF-Dokument	6
1.3.3 Das PDF-Dokument als Medium der elektronischen Lehre	7
1.4 Lernen mit elektronischen Medien.....	8
1.4.1 Lerntheorien	8
1.4.2 Lerntheorien und E-Learning	9
1.4.3 Nutzen und Anwendbarkeit von E-Learning.....	9
1.5 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit	11
2. METHODIK	11
2.1 Methodisches Konzept.....	11
2.1.1 Studiendesign	11
2.1.2 Randomisierung	12
2.2 Onlinekurs "Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie".....	12
2.2.1 Aufbau des Kurses	13
2.3 Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“.....	14
2.4 Lernskripte (PDFs).....	15
2.5 Datenerhebung	15
2.5.1 Online-Fragebogen	15
2.5.2 Inhalte des Online-Fragebogens.....	16
2.5.3 Abschlussklausur	18
2.6 Auswertung der Daten	18
2.6.1 Auswertung der Fragebögen.....	18
2.6.2 Statistische Auswertung	19
2.6.3 Auswertung der Klausurergebnisse	19

3. ERGEBNISSE.....	20
3.1 Umfrage in den Gruppen	20
3.1.1 Bewertung der Lernkurse	21
3.1.2 Akzeptanz der Lernmedien	21
3.1.3 Ausdruckbarkeit von Lernmedien	22
3.2 Allgemeine Umfrage (Gruppe A+B, 131 Studierende)	24
3.2.1 Welches ComputermEDIUM bevorzugen Sie beim Lernen?	24
3.2.2 Über welchen Internetanschluss verfügen sie zu Hause?	25
3.2.3 Von wo haben Sie im Regelfall auf die k-MED-Plattform zugegriffen?.....	26
3.2.4 Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen	26
3.2.5 Antworten zur Frage „Haben Sie Vorschläge und Anregungen zur Verbesserung des Lernerfolgs in der Radiologie (freiwillige Angabe)“?	28
3.3 Ergebnisse der Klausur.....	28
4. DISKUSSION	30
4.1 Vergleich mit anderen Studien	31
4.2 Kritische Bewertung der Ergebnisse.....	35
4.3 Der Effekt von Animationen auf den Lernerfolg	37
4.4 E-Learning mit PDF-Dokumenten.....	39
4.5 Voraussetzungen für das E-Learning in der Medizin	40
5. SCHLUSSFOLGERUNG	42
6. ZUSAMMENFASSUNG	43
7. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	46
8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	47
9. LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS.....	48
10. ANHANG	57
10.1 Verzeichnis der akademischen Lehrer	57
10.2 Danksagung	57
Lernskript „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“	58

1. Einleitung

1.1 k-MED (www.k-med.org)

Das Projekt „Wissen basierte multimediale medizinische Lehre“ (*Knowledge-based Multimedia Medical Education, k-MED*) ist eine seit 2001 in die Lehre eingebundene, für Studierende der Humanmedizin gebührenfreie, Internet-Lernplattform.

K-MED ist ein Verbundprojekt folgender Hochschulen:

- Justus-Liebig-Universität Gießen (Konsortialführung)
- Fachhochschule Gießen-Friedberg
- Philipps-Universität Marburg
- Technische Universität und Fachhochschule Darmstadt
- Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

K-MED begann 1999 als Pilotprojekt des Fachbereichs der medizinischen Infektiologie der Justus-Liebig-Universität Gießen und des Fachgebietes „Multimedia und Kommunikation“ der technischen Universität Darmstadt. Die Schwerpunkte lagen in den vorklinischen und klinisch-theoretischen Fächern der Medizin, dazu kamen Kurse für die Humanbiologie, Physiotherapie und andere medizinnahe Studiengänge (Wagner R 2006).

1.1.1 Lern-Management-System (LMS)

Seit September 2005 basiert k-MED auf der im Jahre 1997 entwickelten Plattform „Integriertes Lern-, Informations- und Arbeitskooperations-System“ (ILIAS) der Universität Köln, einem lizenzfreien Lern-Management-System. Die Quelloffenheit (*open source*) dieses Systems ermöglicht die freie Erweiterung und Entwicklung der ILIAS-Software für den individuellen Einsatz Internet basierter Bildungsangebote. ILIAS erfüllt den E-Learning Standard „*Sharable Content Object Reference Model*“ (SCORM). Dieser Standard wurde ursprünglich für Militärzwecke in den USA entwickelt. Im Jahre 2002 wurde er von der Initiative „*Advanced Distributed Learning*“ (ADL) des US-Verteidigungsministeriums und des US-Ministeriums für Wissenschaft und Forschung für die Öffentlichkeit freigegeben. Er stellt eine Sammlung von

verschiedenen Standards für eine bessere Wiederverwendbarkeit, Kompatibilität, Dauerhaftigkeit und Verfügbarkeit von E-Learning Angeboten dar (ADL 2006; Dodds P 2006; Leidhold W 2007). SCORM wird im Bereich E-Learning allgemein als besonders Erfolg versprechend eingeschätzt (Tergan S O 2004).

1.1.2 Aufbau der Onlinekurse

Die Onlinekurse sind vom Grunddesign mit weißer Schrift auf dunkel blaugrünem Hintergrund gestaltet und werden auf der k-MED-Plattform hierarchisch und linear in Form einer Leiterstruktur organisiert. Die Kurse können dabei mit den Schaltflächen „weiter“ und „zurück“ oder über das Inhaltsverzeichnis navigiert werden. Als Leiterstruktur bezeichnet man einen Aufbau, bei dem die Inhalte einer Lehreinheit wie in einem Lehrbuch in Kapiteln bzw. Haupt- und Untermenüs geordnet sind und logisch aufeinander aufbauen (Mair D 2005). Als Anwender verfügt man bei k-MED über einen virtuellen persönlichen Schreibtisch, mit individuellen Zugriffsrechten auf die verschiedenen Materialien und Funktionen. Für die Kommunikation zwischen den Studierenden und Lehrenden werden Informationsverteiler über E-Mail und kursgebundene Foren angeboten.

1.1.3 Angebote für die Medizinische Ausbildung

Anfang des Jahres 2008 belief sich die Anzahl der registrierten k-MED Nutzer auf rund 7.700 Studierende (hauptsächlich Humanmedizin) und 300 Gäste aus anderen Bereichen des Gesundheitssystems. Dazu kamen etwa 50 Autoren, Techniker und Berater. Das Angebot umfasst mittlerweile über 200 Lernkurse mit über 5000 Bildschirmseiten mit Texten, Bildern, Grafiken, Animationen, Filmsequenzen und gesprochenen Kommentaren. Die Inhalte der Plattform (überwiegend Onlinekurse und andere Unterrichtsmaterialien) stammen aus verschiedenen Fachbereichen der Humanmedizin (insbesondere Allgemeinmedizin, Anästhesie, Anatomie & Histologie, Arbeitsmedizin, Biochemie, Humangenetik, Infektiologie, Kinderheilkunde, Pharmakologie, Physiologie, Radiologie und Zahnheilkunde). Neben der Lernplattform stellt k-MED eine weitere Plattform für k-MED-Autoren zur Verfügung. Diese ist mit internetbasierten Werkzeugen versehen, u.a. für die Evaluation von Lehrveranstaltungen und die Erstellung von elektronischen

Klausuren über das Internet (*E-Klausuren*), sowie mit einer umfassenden Medien-Bibliothek (Wagner R 2006).

1.1.4 k-MED im Fachbereich Radiologie

Im Querschnittsbereich 11: „Bildgebende Verfahren, Strahlenbehandlung, Strahlenschutz“ des Fachbereichs Radiologie der Philipps-Universität Marburg werden seit 2003 k-MED-Kurse im Rahmen einer gemischten Lehrveranstaltung (*Blended Learning*) angeboten. Hierfür wird den Teilnehmern das Lehrangebot der Radiologie auf den persönlichen Schreibtisch der k-MED-Plattform online zur Verfügung gestellt. Ein zu Beginn des Semesters festgelegter, freiwilliger Kurstermin mit Fachärzten aus der Radiologie (in der Radiologie als „*Meet the experts*“ bezeichnet) soll zudem den direkten Austausch mit den Dozenten ermöglichen. Dieses Konzept entspricht dem im Jahr 2000 populär gewordenen Begriffs *Blended Learning*. Dies bezeichnet eine Mischung (= engl. *blend*) aus konventionellem Präsenzunterricht und elektronischem Lernen (*E-Learning*). In welchem Verhältnis beide Unterrichtsformen eingesetzt werden, liegt dabei im Ermessen des Lehrenden (Miller D 2006).

Mittlerweile nutzen die Dozenten der Radiologie die k-MED Lernplattform für nahezu alle curricularen Lehrveranstaltungen (Wagner R 2006). Der Fachbereich Radiologie war Anfang 2008 mit 29 Onlinekursen auf der k-MED-Plattform vertreten, darunter befanden sich 18 Kurse aus der Nuklearmedizin, 9 aus der Strahlendiagnostik und 2 aus der Strahlentherapie. Dazu kamen unter der Rubrik „Lernmaterial für Gruppenunterricht und Klausurvorbereitung“ und „Lehrmaterialien“ 27 Lern- und Informationsskripte sowie eine Probeklausur und eine Verknüpfung (*Hyperlink*) zu einem umfassenden Online-Skript aus der Strahlendiagnostik.

1.2 Begriffserklärung E-Learning / Onlinekurs

1.2.1 E-Learning

Unter dem uneinheitlich verwendeten Begriff E-Learning wird im Allgemeinen technologiegestütztes Lehren und Lernen verstanden (Esser F H 2000), wobei Lerninhalte mit Hilfe von Computern multimedial vermittelt werden (Müller M 2004). Multimedial bedeutet hierbei die gleichzeitige Nutzung von digital gespeicherten Daten (Negroponte N 1995) mittels verschiedener Medienformen wie z.B. Texte, Bilder, akustische Darbietungen, Videos und Animationen (Koegel Buford J F 1994). Die Schreibweisen für „E-Learning“, „e-Learning“ bzw. „Elearning“ oder „eLearning“ finden ebenso wie der Begriff in der Literatur keine einheitliche Verwendung. Daher wurde für diese Studie die Schreibweise des Dudens ausgewählt. Die richtige Schreibweise im deutschsprachigen Raum ist demnach „E-Learning“ (Dudenredaktion 2008).

Mit zunehmender Verbreitung des weltweiten Netzes (*World Wide Web*, *WWW* oder *Web*) wurde der Begriff E-Learning immer häufiger als Synonym für alle Formen der Aus- und Weiterbildung über das Internet verwendet (Lehner F 2001).

In der medizinischen Ausbildung erschien E-Learning in Form des Web basierten Lernens (*Web based learning*, *WBL*) erstmals 1992 (Ostbye T 1992), zeitgleich mit der kommerziellen Freigabe des WWW durch das Europäische Labor für Teilchenphysik (CERN) in Genf (CERN 2008).

1.2.2 Computer basiertes Lernen

Mit den Begriffen Computer basiertes Training (*Computer based training*, *CBT*) bzw. Computer basiertes Lernen (*Computer based learning*, *CBL*) wird im Bereich E-Learning das Lernen mit Computerprogrammen bezeichnet. Internet basiertes Training (*Web based training*, *WBT*) bzw. Internet basiertes Lernen (*Web based learning*, *WBL*) ist eine Weiterentwicklung des CBT/CBL und bezeichnet das Lernen über ein Programm zum Betrachten von Internetseiten (*Webbrowser*) im Inter-, Intra- oder Extranet (INNO-tec 2002). Ganz allgemein ist CBT oder CBL als Oberbegriff für

verschiedene Computer gestützte Lernformen zu betrachten (Kerres M 2001a). Daher wurde der Begriff Computer basiertes Lernen zur Übersichtlichkeit in dieser Arbeit auch in Bezug auf die internetbasierten Lernformen angewandt.

1.2.3 Onlinekurs

Als Onlinekurs ist in dieser Arbeit eine E-Learning Lehreinheit auf der k-MED-Plattform definiert, die eine multimedial aufbereitete Lehrbucheinheit im Internet darstellt. Als multimediale Bausteine kommen dabei Texte, Grafiken, Bilder, Animationen und interaktive Übungsaufgaben (*Testitems*) zum Einsatz.

Der Aufbau der Onlinekurse ist ähnlich wie in einem Lehrbuch in einer Leiterstruktur angeordnet. Das Umblättern der Seiten kann mit den Tasten „vor“ und „zurück“ gesteuert werden. Zur besseren Orientierung und zur gezielten Bearbeitung bestimmter Abschnitte konnten die Lernenden zudem auf ein Inhaltsverzeichnis mit Hyperlinks zugreifen.

Die im Sommersemester 2007 angebotenen Onlinekurse auf der k-MED-Plattform konnten ausschließlich online abgerufen und bearbeitet werden (Web basiertes Lernen).

1.3 Begriffserklärung Lernskript / PDF

1.3.1 Lernskript

Als Lernskript oder Skript (lat. *scriptum* "Geschriebenes") wird der schriftliche Abriss einer Vorlesung an Universitäten (Langenscheidt 2008), eine schriftliche Ausarbeitung oder allgemein ein Schriftstück bezeichnet (WAHRIG 2008). Ein Skript kann in gedruckter Form oder z.B. als Adobe PDF- bzw. Microsoft Word-Datei über das Internet verbreitet werden. Außerdem findet die Bezeichnung sowohl für Filmdrehbücher als auch für Manuskripte Verwendung.

1.3.2 PDF-Dokument

Das „Übertragbare Dokumenten Format“ (*Portable Document Format, PDF*) ist ein digitales Dokumentenformat und wurde 1993 von der Firma Adobe Systems Incorporated (Beaverton, USA) entwickelt. Es zählt heute zu dem am häufigsten genutzten Medium im Internet (Adobe 2008a). Für das Lesen eines PDF-Dokuments benötigt man den Adobe Acrobat Reader, ein kostenloses Programm, das auf der Internetseite von Adobe für die gängigen Betriebssysteme zur Verfügung gestellt wird. Das Format ist damit weitestgehend plattformunabhängig. PDF-Dokumente können problemlos online wie auch offline z.B. auf Desktop Computern, mobilen Computern (*Notebooks*), kleinen Notebooks (*Netbooks*), Lesegeräte für elektronische Bücher (*E-Book-Readern*), sowie auf kompakten Computersystemen wie persönliche digitale Assistenten (*Personal Digital Assistant, PDA*), Handcomputern (*Handheld*), und mobilen Telefonen mit erweiterten Betriebssystemen (*Smartphones*) gelesen und bearbeitet werden. Suchfunktionen zum Nachschlagen von bestimmten Begriffen und die Integrationsmöglichkeit von Hyperlinks und Lesezeichen sorgen für eine einfache und übersichtliche Bedienung.

Das PDF unterstützt technische Hilfsmittel zur Barrierefreiheit von Dokumenten. Dadurch kann es z.B. auch bei Sehbehinderungen verwendet werden. Weiterhin bietet das PDF die Möglichkeit, das Erscheinungsbild und die Informationen der Originaldokumente vor Veränderung zu schützen.

PDF-Dateien sind seit über 10 Jahren Standard, wenn es um die Weitergabe von elektronischen Dokumenten geht. Im Jahr 2002 wurden mehr als 93% der neu produzierten Informationen für das Internet als PDF hergestellt (Lee K 2002). Besonders im akademischen Umfeld sind PDF-Dokumente nicht mehr wegzudenken. Das PDF-Dokument war 2002 im Zusammenhang mit Publikationen an Universitäten das Medium der Wahl (Armstrong C 2002). Dies zeigten die Inhalte auf den Dokumentenservern der entsprechenden Institutionen (Schallehn V 2004). Verleger und Aggregatoren schließen sich an und bieten ihre E-Books mittlerweile überwiegend im PDF-Format an (McLuckie A 2003).

Nach einer Studie der Humboldt-Universität Berlin waren im Jahre 2001 mit insgesamt fast 10% (9,54%) der Treffer in der Trefferauflistung bei der Suchmaschine „google“ PDF-Dokumente überdurchschnittlich stark vertreten (Mayer R 2002).

Anfang 2008 gab es ca. 200 Millionen Adobe PDF-Dokumente im Internet (Adobe 2008a). Im Gegensatz dazu fand man dort nur zwischen 25 und 30 Millionen Exemplare von Microsoft Word-Dokumenten (Wagner E 2006).

1.3.3 Das PDF-Dokument als Medium der elektronischen Lehre

Bücher und Lernskripte in gedruckter Form werden dem konventionellen Lernen zugeordnet. Da E-Learning im Allgemeinen als Oberbegriff für alle Arten internetbasierter und digitaler Lehr- und Lernangebote aufgefasst werden kann (Kerres M 2001a), müsste man ein im Internet zur Verfügung gestelltes PDF-Lernskript ebenso dieser Rubrik zuordnen können.

Nach Klie et al. jedoch werden Text-Dateien als PDF nur zu den Vorformen von E-Learning im heutigen Sinne gezählt (Klie T 2006). Auch bei Sesink hat ein aus dem Internet herunterladbares Skript mit dem Begriff E-Learning noch nicht viel zu tun, da es ebenso in gedruckter Form zugänglich gemacht werden könnte (Sesink W 2005). So kommt es, dass sich online verfügbare PDF-Dokumente nur schwer einer einzelnen Lernform zuordnen lassen. Sie fallen in einen Grenzbereich zwischen traditionellem und elektronischem Lernen. Online abrufbare Lernskripte sind ebenso wie Onlinekurse multimediale, zeit-, orts- und personenunabhängige Lernmedien, mit denen flexibles Lernen möglich ist (Baumgartner P 2002). Im Microsoft Word-Format oder als Adobe PDF können sie als Web und Computer basierte Medien verstanden werden. Man kann sie im Internet abrufen und ausdrucken oder auf dem Bildschirm eines Computers lesen und bearbeiten. PDF-Dateien bieten mittlerweile die Möglichkeit, auch Filme und Animationen in das Format mit einzubetten (Koren G 2003). Seit der Version 6 (Veröffentlichung 2003) von Adobes Acrobat Professionell lassen sich auch Film- (*MPEG, SWF, QuickTime und AVI*), Audiodateien (*WAV, AIF und AU*) und Animationen (*SWF*) in PDF-Dokumente integrieren (Adobe 2008b). Spätestens in dieser multimedialen Form wird aus dem PDF ein vollwertiges, interaktives und sogar plattformunabhängiges elektronisches Medium.

1.4 Lernen mit elektronischen Medien

1.4.1 Lerntheorien

Auch beim E-Learning kann auf eine Auseinandersetzung mit den drei großen Gruppen der Lerntheorien (Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus)

nicht verzichtet werden. Im Folgenden sollen diese Theorien daher kurz charakterisiert werden.

Die behavioristische Lehrstrategie beschreibt das Lernen als einen, durch Anpassung erworbenen, konditionierten Reflex. Ein geeigneter Reiz ruft dabei eine bestimmte Reaktion hervor, die, mit einem adäquaten Feedback unterstützt, die richtigen Verhaltensweisen verstärken kann (klassische Konditionierung) (Baumgartner P 2003). Die dabei ablaufenden Vorgänge im Gehirn werden nicht weiter berücksichtigt.

Im Gegensatz dazu geht der Kognitivismus vermehrt auf die Informationsverarbeitung des zentralen Nervensystems ein. Die Grundlage für diese Theorie bilden wissenschaftliche Erkenntnisse über menschliche Denkprozesse (Erinnern, Vergessen, Lernen, etc.). Das Lernen wird nicht über adäquate Reize, sondern durch bestimmte Methoden und Verfahren zur Problemlösung gebahnt (Lernen durch Einsicht, entdeckendes Lernen). Dabei können verschiedene Wege zum gewünschten Ergebnis führen.

Nach Kerres mangelt es beim Kognitivismus an weiteren fundierten wissenschaftlichen Grundlagen, die die Abläufe im Gehirn bei komplexen Lernprozessen, wie dem multimedialen Lernen genauer beschreiben (Kerres M 1998). Zudem finden Emotionen und körperliche Wahrnehmungen in diesem Modell keinerlei Berücksichtigung.

Beim Modell des Konstruktivismus wird das Lernen durch eigene Erkenntnis induziert. Lernen entsteht durch aktives Handeln, das in einem ziel- und praxisorientierten Kontext auf dem Vorwissen des Lernenden aufbaut (Lernen im sozialen Kontext, situiertes Lernen). Wissen soll nach dieser Theorie konstruktiv mit Hilfe von Problemlösungen erworben werden, die durch selbst motivierte, persönliche Entdeckungen an das Vorwissen des Individuums anknüpfen (Cooper P 1993). Der Lernende muss folglich aktiv werden, um das Wissen aufzunehmen.

1.4.2 Lerntheorien und E-Learning

E-Learning knüpft am ehesten an die Lerntheorie des Konstruktivismus an. Der Schwerpunkt liegt nicht nur auf der Wiedergabe gespeicherten Wissens, sondern es ermöglicht und fördert auch individuelles und interaktives Lernen (Cooper P 1993). E-Learning definiert sich durch selbstgesteuertes Lernen und erfordert damit ein

höheres Maß an Eigeninitiative und Selbstorganisation, als es im Rahmen von konventionellen Unterrichtsformen notwendig ist. Die erhöhten Anforderungen an die Lernenden entstehen durch die Freiheiten, die das E-Learning mit sich bringt (Sesink W 2003). So müssen die Studierenden auf Vorgaben durch professionelle Einrichtungen und Mitlernende als unterstützendes soziales Umfeld verzichten. Der Lernende muss das Lernen in seine häusliche Umgebung integrieren und sich in Bezug auf die Probleme, die sich durch das Lernumfeld ergeben (Mitbewohner, Hausarbeit, Ablenkung anderer Art) selbst motivieren. Es entsteht eine Mehrbelastung, da er die Verantwortung für den Umfang seines Lernens selber tragen muss.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird E-Learning vermehrt nicht mehr ausschließlich als Computer basiertes Lernen angeboten, sondern in Kombination mit konventionellem Präsenzunterricht als so genanntes Blended Learning (Sesink W 2003).

1.4.3 Nutzen und Anwendbarkeit von E-Learning

E-Learning kann einen positiven Einfluss auf die Lernmotivation haben. Dieser so genannten „Neuigkeitseffekt“ scheint aber nur von kurzer Dauer und für eine beständige Lernmotivation nicht ausreichend zu sein (Kerres M 2003). Im Idealfall wirkt sich E-Learning durch eine Verkürzung der Lerndauer positiv auf den Wissenserwerb aus. Multimediales Lernen weist aber im Gegensatz zum konventionellen Unterricht ebenso eine höhere Abbrecherquote auf und kann durch die implizierte Eigenverantwortlichkeit den Lernenden überfordern (Kerres M 1999; Kerres M 2003).

E-Learning kann mittels Animationen komplexe Sachverhalte lebendig und

greifbar machen. Bewegungsabläufe können anschaulicher dargestellt werden als mit Texten und Bildern. Die Wissensvermittlung durch Animationen ist jedoch nicht in jedem Fall einer Wissensvermittlung durch statische Bilder vorzuziehen. Eine klare Überlegenheit von bildlichen Darstellungen konnte bisher nur für aufeinander abgestimmte Text-Bild-Kombinationen empirisch belegt werden (Hedtke R 2000). Hinsichtlich des Lernergebnisses scheint die Verwendung von Animationen dem Einsatz von Bildern aber ebenbürtig zu sein (Lewalter D 1997).

Bei bewegten Bildern besteht allerdings die Möglichkeit, dass es durch zu schnelles Abspielen, zu schnelle Bildwechsel oder überladene Bilddarstellungen zu einer kognitiven Überlastung (*Overload*) kommen kann. Diese Gefahr besteht insbesondere dann, wenn ein Inhalt zeitgleich durch eine Animation und einen schriftlichen Text visuell vermittelt wird, weil Bilderabfolgen und Texte bei dieser Form der Darbietung gleichzeitig erfasst und verarbeitet werden müssen.

Bei Animationen in Kombination mit gesprochenem Text scheint die Gefahr des Overloads weniger groß zu sein, da die Inhalte getrennt über einen akustischen und einen visuellen Sinneskanal wahrgenommen werden können (Mayer R 2002). Weiterhin kann das Risiko durch eine Verlangsamung der Animationen, eine mentale Vorbereitung des Lernenden, Wiederholungen, strukturierende Schrifteinblendungen und durch eine grundsätzliche Beschränkung der Animationen gesenkt werden (Wick S 1998).

Sesink erklärte hierzu 2003, dass „E-Learning nicht als Alternative oder Konkurrenz zum personalen Präsenzunterricht dienen sollte, sondern als Angebot an die Lehrenden zur Anreicherung und Aufwertung ihrer Lehre.“ Er sagt weiter: „Wer verspricht, E-Learning werde (teure) Lehrkräfte überflüssig machen, hat keine Ahnung von Bildung und Pädagogik, damit aber auch keine Ahnung von E-Learning“ (Sesink W 2003). Das Lernen mit elektronischen Medien kann für den universitären Unterricht eine Bereicherung darstellen, wenn der Einsatz der Ressourcen didaktisch-methodisch gut koordiniert wird (Sesink W 2005). Der Schwerpunkt ist dabei weniger auf die Wahl des Lernmediums an sich zu setzen, als vielmehr auf eine sinnvolle und korrekte Anwendung der multimedialen Möglichkeiten unter Berücksichtigung der Zielgruppe, Rahmenbedingungen, Lerninhalte und Lernziele, sowie der Kosten-Nutzen-Relation (Schulmeister R 1997; Kerres M 2003).

1.5 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurde der Onlinekurs „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“ für die k-MED-Plattform entwickelt. Er stellt die Grundlage dieser Arbeit dar und wurde erstmals im Sommersemester 2006 an der Philipps-Universität Marburg eingesetzt. Zudem wurden ein zweiter schon

vorhandener Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“, sowie zwei auf Basis der Onlinekurse erstellte PDF-Lernskripte für diese Studie verwendet.

Es sollte die Überlegenheit der Onlinekurse gegenüber den Lernskripten aufgezeigt werden. Durch eine Evaluation in Form eines Kreuzversuches sollte der aufgestellten Hypothese eine Nullhypothese gegenübergestellt werden, die es mit der vorliegenden Studie zu widerlegen galt.

Nullhypothese (H_0): Multimedial aufbereitete Onlinekurse (k-MED) mit Animationen und interaktiven Übungsaufgaben weisen keinen statistisch signifikanten Unterschied gegenüber gleichwertigen Lernskripten (PDF) in Bezug auf den Lernerfolg auf.

Alternativhypothese (H_1): Multimedial aufbereitete Onlinekurse (k-MED) mit Animationen und interaktiven Übungsaufgaben sind gleichwertigen Lernskripten (PDF) in Bezug auf den Lernerfolg statistisch signifikant überlegen.

2. Methodik

2.1 Methodisches Konzept

2.1.1 Studiendesign

Bei der Studie handelte es sich um eine kontrollierte und randomisierte experimentelle Studie (Hecker H 1991) mit einer Studienpopulation von 131 Studierenden (83 weibliche, 48 männliche). Die Studierenden nahmen im Sommersemester 2007 an dem Grundlagenkurs der Radiologie an der Philipps-Universität Marburg teil. Sie wurden in die Gruppen A und B eingeteilt, denen zwei

verschiedene Kombinationen von Onlinekurs (k-MED) und Lernskript (PDF) als Klausurvorbereitung zur Verfügung gestellt wurden:

Gruppe A (66 Studierende: 44 weibliche, 22 männliche): Onlinekurs (k-MED) „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ und Lernskript (PDF) „Grundlagen der Magnetresonanztomographie“

Gruppe B (65 Studierende: 39 weibliche, 26 männliche): Onlinekurs (k-MED) „Grundlagen der Magnetresonanztomographie“ und Lernskript (PDF) „Grundlagen der Strahlendiagnostik“

2.1.2 Randomisierung

Die Einteilung der Probanden erfolgte nach dem Prinzip der Quasi-Randomisierung. Dabei wurden die Studierenden über die Anmeldung zum Radiologieangebot auf der k-MED-Plattform nach dem Eingang der Anmeldung abwechselnd in die Gruppen A und B eingeteilt. Bei dieser Einteilung handelt es sich genau genommen um keinen validen Zufallsmechanismus. Die Absicht bei einer Quasi-Randomisierung ist jedoch die Gewährleistung der Balanciertheit (Timmer A 2008). Die Verteilung der Geschlechter war bei dieser Studie nach dem Fisher-Exakt-Test (Chi Quadrat Test, Kreuztabelle) nicht signifikant unterschiedlich (Hecker H 1997). Auch in Bezug auf das Alter gab es zwischen den Gruppen A und B keinen statistisch signifikanten Unterschied. Eine Strukturgleichheit der Gruppen konnte somit gewährleistet werden.

2.2 Onlinekurs „Grundlagen der Magnetresonanztomographie“

Der im Rahmen dieser Doktorarbeit erstellte Onlinekurs „Grundlagenkurs der Magnetresonanztomographie“ umfasste 3468 Wörter, in weißer Schrift auf dunkel blaugrünem Hintergrund, auf 32 Seiten. Dazu kamen 27 Grafiken und Bilder (davon 6 mit Beschriftungen und Markierungen beim Überfahren mit der Maus), 14 teils sehr aufwändig gestaltete Animationen, kurze Videosequenzen, sowie 5 Übungsaufgaben zur persönlichen Lernkontrolle. Die geschätzte Bearbeitungszeit

betrug in etwa 45-60 Minuten. Zu Beginn des Kurses wurden die Entwicklung und der Systemaufbau des Magnetresonanz-Tomographen dargestellt. Es folgten die physikalischen Grundlagen, Informationen zu Kontrastmitteln, die Einsatzbereiche der Magnetresonanz-Tomographie (MRT) und die Risiken bei der Untersuchung.

Ansprechpartner und Betreuer für diesen Kurs waren Prof. Dr. Klaus Jochen Klose (Direktor der Klinik für Strahlendiagnostik des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg), Prof. Dr. rer. physiol. Johannes Heverhagen (Arbeitsgruppe medizinische Physik), Dr. Christine Schäfer (Bildungsadministratorin für k-MED der Philipps-Universität Marburg), Boris Keil (Wissenschaftlicher Mitarbeiter) und Dipl. Ing. Dorothea Theis (Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Fachhochschule Gießen-Friedberg, Institut für medizinische Physik und Strahlenschutz).

Das Lernmodul diente im Sommersemester 2007 als Vorbereitung auf die bevorstehende Abschlussklausur des Grundlagenkurses der Radiologie.

2.2.1 Aufbau des Kurses

Der Onlinekurs „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“ gliederte sich in die folgenden Inhalte:

1. Einleitung, Überblick MRT
2. Entwicklung
3. MRT-Systemaufbau (Achsenbezeichnungen beim MRT)
4. Was ist der Kernspin?
5. Wasserstoffprotonen im Magnetfeld
6. Phasenverschiebung
7. Die Larmorfrequenz
8. T1- und T2-Relaxation
9. Das MR-Signal (Entstehung des Bildkontrastes, Z-Gradient, Ortskodierung)
10. Signalmessung / K-Raum (Fouriertransformation)
11. Untersuchungsmethoden (MR-Myelographie und –Sialographie, MR-Cholangiographie und –Urographie, MR-Angiographie, MR-Kardiographie und –Mammographie, Darstellung von flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen, MR-Perfusion und –Diffusion, Neurofunktionelle Bildgebung und MR-Spektroskopie, Kontrastmittelgabe beim MRT)

12. Risiken und Nebenwirkungen
13. Zusammenfassung
14. Übungsaufgaben (1-5)

2.3 Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“

Der Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ von Dr. Anja Schlieck und PD Dr. Martin Gotthardt wurde schon mehrfach im Grundlagenkurs der Radiologie (Querschnittsbereich 11) eingesetzt und bei dieser Studie als Vergleichskurs zum neu erstellten Kurs „Grundlagen der Magnetresonanztomographie“ herangezogen.

Der Kurs umfasste 5110 Wörter auf 48 Seiten mit 23 Grafiken und Bildern, zwei Animationen, sowie ein Fallbeispiel zum Thema. Der Kurs gliederte sich in folgende Inhalte:

1. Einleitung
2. Fallbeispiel
3. Was sind Röntgenstrahlen und wie entstehen sie? (Röntgenstrahlung, Röntgenröhre, Röntgenbremsstrahlung, Charakteristische Röntgenstrahlung, Energie der Strahlung, Spektrum der Röntgenstrahlung, Röhrenspannung, Charakteristika, Zusammenfassung)
4. Was bewirken die Röntgenstrahlen beim Durchtritt durch den menschlichen Körper? (Einleitung, Absorption und Streuung, Absorption, Schwächung, Strahlenexposition und Strahlenschutz, Aufhärtung, Streustrahlenraster, Einblendung, Weitere Möglichkeiten zum Strahlenschutz, Halbwertschicht, Zusammenfassung)
5. Wie entsteht ein Röntgenbild? (Bildaufnahmesystem, Bildqualität, Fokus-Objekt-Film-Abstand, Bewegungsunschärfe, Zusammenfassung)
6. Grundlagen der Bildinterpretation (Terminologie, Was stellt sich wie dar?, Kontrastverhalten, Röntgen-Thorax, Absorption im Röntgen-Thorax, Kontrastverhalten, Pathologische Befunde, Aufhellung und Verschattung, Aufnahmetechnik, Zusammenfassung)
7. Kurszusammenfassung

2.4 Lernskripte (PDFs)

Die Lernskripte (PDF) wurden mit Adobe Indesign CS3 erstellt und orientierten sich weitestgehend an den gleichnamigen Onlinekursen. Die Texte und Abbildungen wurden unverändert übernommen, die Animationen in Textform beschrieben und mit 1-2 Bildern dargestellt. Zudem wurden die interaktiven Übungsaufgaben zur Lernkontrolle statisch als Text umgesetzt.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Lernskripte „Grundlagen zur Magnetresonanztomographie“ (18 Seiten) und „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ (23 Seiten) im einheitlichen Format erstellt. Dazu zählten die Grundelemente des Designs, Hyperlinks im Inhaltsverzeichnis (interaktives springen zu den angegebenen Themen), sowie eine Lesezeichenleiste zur besseren Orientierung und gezielten Bearbeitung.

Da das Konzept von k-MED eine überwiegend hierarchisch und lineare Struktur vorsieht (Leiterstruktur, Navigation mit den Schaltflächen „weiter“ und „zurück“), war eine Übertragung des Onlinekurses auf das Medium PDF problemlos zu realisieren. Der Vergleich zwischen den beiden Medien Onlinekurs (k-MED) und Lernskript (PDF) war dabei durch den gleichen Inhalt, Aufbau und die grafische Aufbereitung der Kurse gewährleistet.

2.5 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte über einen selbst erstellten Online-Fragebogen auf der k-MED-Plattform, sowie über eine Abschlussklausur des Grundlagenkurses zur Erfassung des Lernerfolges.

2.5.1 Online-Fragebogen

Der Online-Fragebogen beinhaltete Fragen zur Akzeptanz und Bewertung der Medien, sowie zu den technischen Voraussetzungen der Studierenden.

Bei den Antwortmöglichkeiten wurde neben dem Schulnotensystem (1 „sehr gut“

bis 6 „ungenügend“) darauf geachtet, dass sich die Probanden bei der Bewertung für eine Richtung entscheiden mussten. Damit konnte das Phänomen der sogenannten „zentralen Tendenz“ oder der „Tendenz zur Mitte“ (Mittelwertorientierung) umgangen werden (Amundis 2007). Die Probanden mussten hierbei durch Fehlen eines Mittelwertes einen positiven bzw. negativen Trend angeben.

Am 28.04.2007 wurden die Teilnehmer des Grundlagenkurses über den Email-Verteiler der k-MED-Plattform über den Online-Fragebogen informiert. Dieser konnte freiwillig bis zum Tag der Abschlussklausur am 04.05.2007 über das Internet beantwortet werden. Als Anreiz für die Angaben wurde jedem Studierenden für die vollständige Bearbeitung des Online-Fragebogens ein Punkt für die Abschlussklausur gutgeschrieben. Durch diese Maßnahme konnten am Ende 131 Fragebögen zur Analyse herangezogen werden. Dies entspricht einem Rücklauf von 100%.

2.5.2 Inhalte des Online-Fragebogens

Umfrage für die einzelnen Gruppen (A: 66, B: 65 Studierende)

Der Gruppe A stand das Lernskript „Grundlagen der Magnetresonanztomographie“ und der Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ zur Verfügung. Der Gruppe B stand das Lernskript „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ und der Onlinekurs „Grundlagen der Magnetresonanztomographie“ zur Verfügung.

- 1. Für wie sinnvoll halten Sie das Lernen mit Onlinekursen im Rahmen Ihrer Ausbildung? ^A**
- 2. Durch den zur Verfügung gestellten Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ habe ich viel gelernt. (bzw. „Grundlagen der Magnetresonanztomographie“) ^B**
- 3. Die Animationen und Simulationen stellen eine sinnvolle Ergänzung des Lehrmaterials dar. ^B**
- 4. Ich würde es begrüßen, wenn im Rahmen meiner Ausbildung mehr Lernkurse als Onlinekurs zur Verfügung gestellt werden würden. ^B**
- 5. Welche Schulnote würden Sie dem Onlinekurs „Grundlagen der**

- Strahlendiagnostik“ insgesamt geben?** (bzw. „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“) ^c
- 6. Für wie sinnvoll halten sie das Lernen mit Lernskripten (z.B. PDF-Dateien) im Rahmen Ihrer Ausbildung?** ^A
- 7. Wie wichtig ist es Ihnen, Lehrmaterial aus dem Internet ausdrucken zu können?** ^D
- 8. Haben Sie das zur Verfügung gestellte Skript (PDF) „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“ ausgedruckt?** (bzw. „Grundlagen der Strahlendiagnostik“) Ja, nein
- 9. Durch das zur Verfügung gestellte Skript (PDF) „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“ habe ich viel gelernt.** (bzw. „Grundlagen der Strahlendiagnostik“) ^B
- 10. Würden Sie es begrüßen, wenn im Rahmen Ihrer Ausbildung mehr Lernskripte (im PDF-Format) zur Verfügung gestellt werden würden?** ^B
- 11. Welche Schulnote würden Sie dem Skript (PDF) „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“ insgesamt geben?** (bzw. „Grundlagen der Strahlendiagnostik“) ^c

Antwortmöglichkeiten:

- ^A: sehr sinnvoll, eher sinnvoll, eher nicht sinnvoll, nicht sinnvoll, weiß nicht
- ^B: trifft völlig zu, trifft eher zu, trifft eher nicht zu, trifft gar nicht zu, weiß nicht
- ^c: sehr gut, gut, befriedigend, ausreichend, mangelhaft, ungenügend
- ^D: sehr wichtig, eher wichtig, eher unwichtig, unwichtig

Allgemeines (Gruppen A+B, 131 Studierende)

- 1. Welches Computermedium bevorzugen Sie beim Lernen?** Onlinekurs, PDF, beides, keines von beiden, weiß nicht
- 2. Über welchen Internetanschluss verfügen Sie zu Hause?** DSL-Flatrate (oder vergleichbarer Anschluss), DSL-Zeittarif (oder vergleichbarer Anschluss), Modem/ISDN-Flatrate, Modem/ISDN-Zeittarif, weiß nicht, Ich verfüge über keinen eigenen Internetanschluss
- 3. Von wo haben Sie im Regelfall auf die k-MED-Plattform zugegriffen?**

Von zu Hause, bei Freunden, Verwandten oder ähnliches, PCs in Universitätsräumen, öffentlicher Internetplatz (z.B. Internetcafé), sonstiges

- 4. Wie würden Sie Ihre Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen beschreiben?** Sehr positiv, eher positiv, eher negativ, negativ, weiß nicht
- 5. Haben Sie Vorschläge und Anregungen zur Verbesserung des Lernerfolgs in der Radiologie (freiwillige Angabe)?** Freitextantwort

Die zugehörigen Personaldaten (Alter und Geschlecht der Studierenden, Bearbeitungszeit der einzelnen Onlinekurse) konnten über die k-MED-Plattform abgerufen und mit in die Auswertung eingebracht werden.

2.5.3 Abschlussklausur

Die in dieser Studie untersuchten Onlinekurse und Lernskripte bildeten zusammen mit weiteren Onlinekursen zum Thema Strahlendiagnostik die Grundlage für eine Abschlussklausur am 04.05.2007. Zu den Kursen „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ und „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“ wurden jeweils 4 Fragen mit in die Klausur aufgenommen. Die Teilergebnisse zu den untersuchten Kursen wurden unmittelbar nach der Auswertung der Klausur zur Verarbeitung freigegeben.

2.6 Auswertung der Daten

2.6.1 Auswertung der Fragebögen

Für die Auswertung wurden die erhobenen Daten von der k-MED-Plattform als Excel-Dateien (XLS, von Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) exportiert, mittels Excel (Version Microsoft Office 2003) formatiert und in das Programm SPSS (Version 15.0, SPSS Inc. Chicago, Illinois) übertragen. Die Datenanalyse erfolgte mit Hilfe der Statistik- und Analysesoftware SPSS. Um einen ersten allgemeinen Überblick über die erhobenen Daten zu bekommen, wurde zunächst die Häufigkeitsverteilung aller erhobenen Variablen in Form von Diagrammen dargestellt.

2.6.2 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde die Statistik- und Analysesoftware SPSS, Version 15.0 von der Firma SPSS Inc. verwendet. Die Häufigkeitsverteilungen in Form von Balken-Diagrammen wurden mit SPSS erstellt. Die Signifikanzen wurden bei der Verwendung von parametrischen Gruppenvariablen mit einem Independent Sample T-Test ermittelt. Als Voraussetzung hierfür wurde die Varianzhomogenität mit Hilfe eines F-Tests (nach Levene) bestimmt, wobei die Varianzgleichheit bis $p < 0,1$ als fraglich galt. Für die Normalverteilung wurde bei dem gegebenen Stichprobenumfang von > 50 je Gruppe die „Schiefe“ oder „skewness“ von $\gamma \leq 1,5$ als Mindestmaß akzeptiert. Bei zwei normalverteilten, quantitativen (ordinal skalierten) Variablen wurden die Zusammenhänge über den Korrelationskoeffizient nach Pearson ermittelt. Ergebnisse mit $p < 0,05$ (Konfidenzintervall von 95%) und niedriger wurden als statistisch signifikant bezeichnet (Hecker H 1997). Wenn die Voraussetzungen für den T-Test nicht erfüllt werden konnten (keine metrische Skala und/oder keine Normverteilung), wurden die mindestens ordinalskalierten Variablen mit dem Mann-Whitney-U-Test geprüft (Janssen J 2007).

2.6.3 Auswertung der Klausurergebnisse

Zur Auswertung der Klausurergebnisse wurden die Teilergebnisse zu den relevanten Kursen von Frau Dr. Christine Schäfer bereitgestellt. Vergleiche mit dem Gesamtergebnis der Klausur wurden aus Datenschutzgründen von Dipl.-Psych. Cord Süße von der Forschungsgruppe „Instruktion und Interaktive Medien“ aus Gießen durchgeführt.

3. Ergebnisse

Vorab sollte erwähnt werden, dass insgesamt 30 der 131 Studierenden aus beiden Gruppen auch den Onlinekurs der jeweils anderen Gruppe mit bearbeitet hatten. Dies konnte anhand der Benutzerdaten der k-MED-Plattform ermittelt werden. Die spezifischen Kurse wurden den Probanden zwar auf ihren „persönlichen Schreibtisch“ gelegt, mit der Bitte, nur mit diesen Kursen zu lernen, ein Zugriff auf die anderen Kurse war aber über die Angebote der Radiologie durchaus noch möglich. In der Gruppe A taten dies auch 18 von 66 Studierenden und in der Gruppe B 12 von 65. Da der Standard für die Behandlung solcher *Cross-over-Patienten* oder in diesem Fall *Cross-over-Probanden* die *Intention-to-treat-Analyse* darstellt (Kleespies C 2005), wurde sie auch für die vorliegende Arbeit angewandt. Nach dieser Methode werden die Probanden in der Auswertung so behandelt, als wären sie ausschließlich in der ihnen zugeteilten Gruppe geblieben. Nach der Theorie kann eine Herausnahme solcher Gruppenwechsler das Ergebnis stärker beeinflussen, als wenn man alles so belässt, wie es ursprünglich gedacht war. Eine Testberechnung mit der Herausnahme dieser Probanden (48 statt 66 Studierenden in Gruppe A und 53 statt 65 in der Gruppe B) ergab zudem keinen signifikanten Unterschied der Gesamtergebnisse.

3.1 Umfrage in den Gruppen

Diese Umfrage bezog sich auf die spezifischen Lernmedien in den jeweiligen Gruppen. Die Studierenden sollten die einzelnen Kurse benoten, ihre persönliche Akzeptanz gegenüber den verschiedenen Medienformen einschätzen und die Ausdruckbarkeit von Lerneinheit bewerten.

Gruppe A (66 Studierende)

Der Gruppe A stand das Lernskript „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“ (PDF) und der Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ (k-MED) zur Verfügung.

Gruppe B (65 Studierende)

Der Gruppe B stand das Lernskript „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ (PDF)

und der Onlinekurs "Grundlagen der Magnetresonanztomographie" (k-MED) zur Verfügung.

3.1.1 Bewertung der Lernkurse

Die durchschnittliche Bewertung (Schulnote) der Onlinekurse lag beim Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ bei 2,20, beim Onlinekurs „Grundlagen der Magnetresonanztomographie“ bei 2,85. Die Bewertung der Lernskripte (PDF) ergab bei der Strahlendiagnostik die Schulnote 2,25 und bei der Magnetresonanztomographie 3,11. Damit wurde der Grundlagenkurs der Strahlendiagnostik in beiden Fällen signifikant ($p < 0,01$) besser benotet als der Grundlagenkurs zur MRT. Dies zeigte sich auch in der subjektiven Einschätzung des Lernerfolgs, wobei die Ergebnisse beim Onlinekurs ($p = 0,028$) sowie beim Lernskript der Strahlendiagnostik ($p = 0,002$) signifikant besser ausfielen. Die Medien Onlinekurs und Lernskript innerhalb eines Grundlagenkurses wurden von den Studierenden jedoch nicht statistisch signifikant unterschiedlich bewertet.

3.1.2 Akzeptanz der Lernmedien

Bei der Frage „Für wie sinnvoll halten Sie das Lernen mit Onlinekursen bzw. Lernskripten im Rahmen Ihrer Ausbildung?“ (*Abbildung 1, S.22*) gab es im Vergleich beider Medien einen signifikanten Unterschied zu Gunsten des Lernskripts ($p = 0,005$). 87% der Studierenden betrachteten Lernskripte als sinnvoll (33,6% sehr sinnvoll, 53,4% eher sinnvoll), bei den Onlinekursen taten dies nur 77,1% (16,8% sehr sinnvoll, 60,3% eher sinnvoll). Ebenso signifikant ($p = 0,000$) war das Ergebnis der Aussage „Ich würde es begrüßen, wenn im Rahmen meiner Ausbildung mehr Onlinekurse bzw. Lernskripte z.B. als PDF zur Verfügung gestellt werden würden.“ (*Abbildung 2, S.22*). Diese Aussage wurde in Bezug auf die Lernskripte mit 84,7% (55,7% trifft voll zu, 29% trifft eher zu) positiver bewertet als dies bei den Onlinekursen mit 61,1% der Fall war (26% trifft voll zu, 35,1% trifft eher zu).

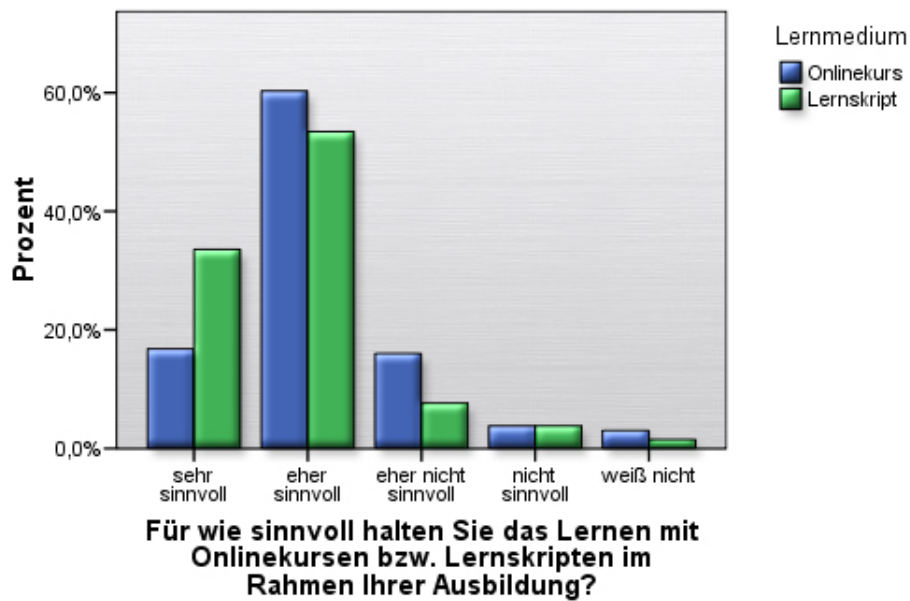


Abbildung 1: Vergleich der Einstellung zu Onlinekursen und Lernskripten

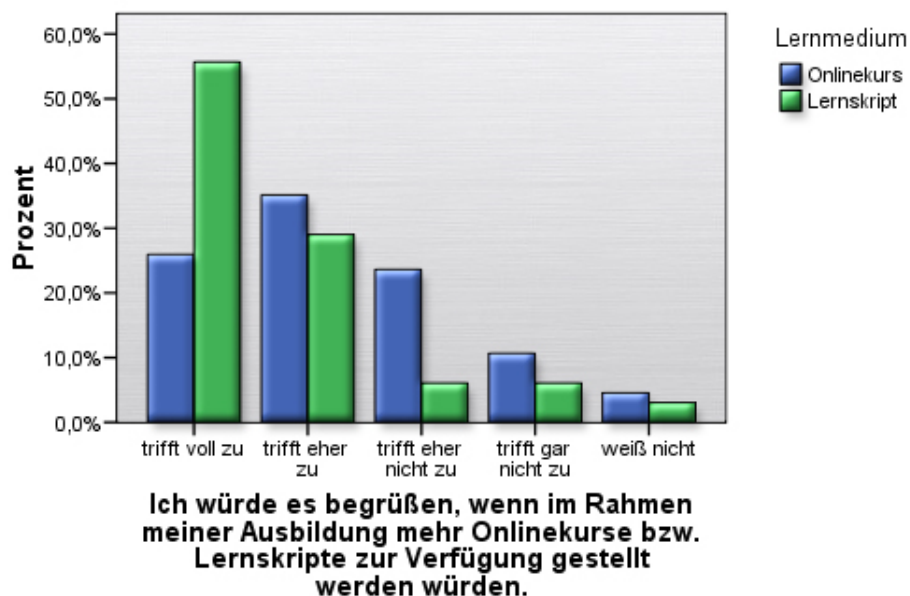


Abbildung 2: Vergleich der Einstellung zu mehr Onlinekursen und Lernskripten in der Ausbildung

3.1.3 Ausdruckbarkeit von Lernmedien

Bei der Frage „Wie wichtig ist es Ihnen, Lehrmaterial aus dem Internet ausdrucken zu können?“ (Abbildung 3, S.23) gab es eine statistisch signifikante Korrelation in Bezug auf den tatsächlichen Ausdruck des Skriptes. Von den 80%, denen es sehr wichtig

und eher wichtig erschien, Lehrmaterial aus dem Internet ausdrucken zu können, druckten 63% das Skript auch tatsächlich aus. Von den 50%, die das Ausdrucken von Lernmedien aus dem Internet als sehr wichtig einstufen, wurde in 77% der Fälle das Skript auch ausgedruckt.

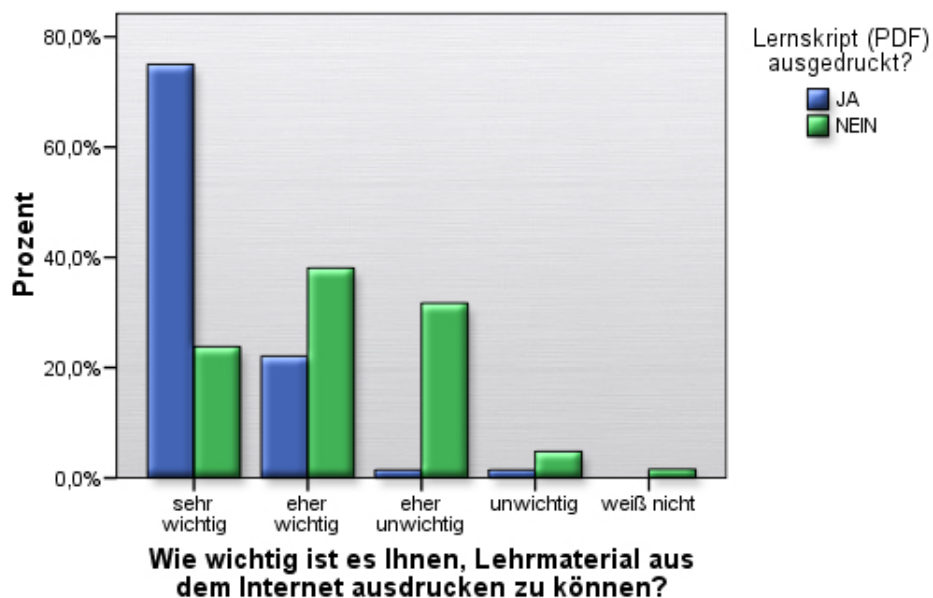


Abbildung 3: Wichtigkeit der Ausdruckbarkeit in Bezug auf den tatsächlichen Ausdruck

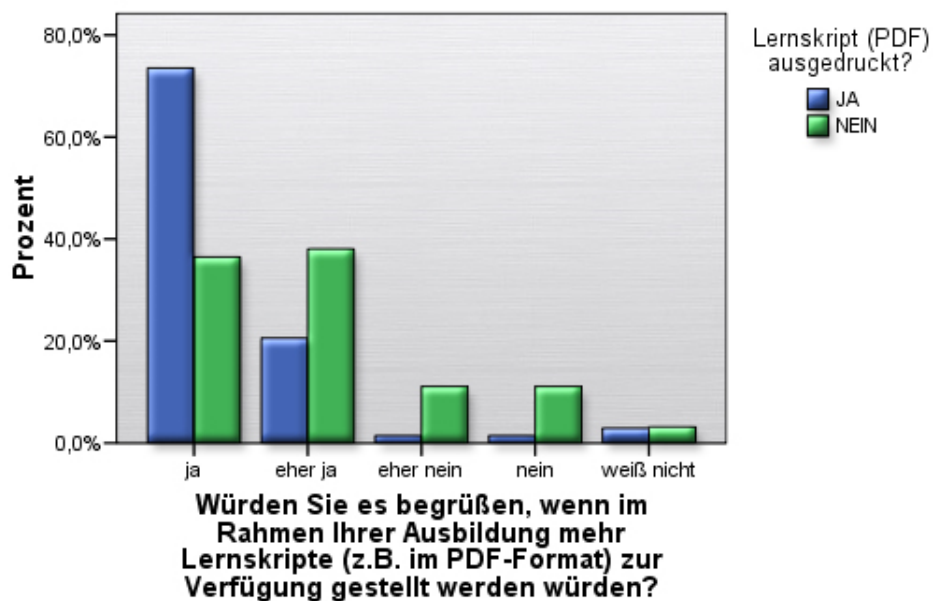


Abbildung 4: Mehr Lernskripte in der medizinischen Ausbildung?

Auch die Frage „Würden Sie es begrüßen, wenn im Rahmen Ihrer Ausbildung mehr Lernskripte (z.B. im PDF-Format) zur Verfügung gestellt werden würden?“ (Abbildung 4, S.23) in Bezug auf den tatsächlichen Ausdruck des Lernskriptes ergab einen statistisch signifikanten Zusammenhang ($p=0,000$). Von den 85%, die die Frage mit ja und eher ja beantwortet hatten druckten sich 58% das Skript auch aus. Bei den 56%, die mit ja geantwortet hatten belief sich der Anteil sogar auf 68%.

3.2 Allgemeine Umfrage (Gruppe A+B, 131 Studierende)

In der allgemeinen Umfrage ging es um die Akzeptanz von E-Learning und um die technischen Voraussetzungen für Computer und Internet basiertes Lernen. Die Daten zum privaten Internetzugang standen zudem auch, neben dem Sommersemester 2007, vom Wintersemester 2006/2007 und vom Sommersemester 2006 vom Grundlagenkurs der Radiologie für die Auswertung zur Verfügung. Für die Ermittlung des Zugriffs auf die k-MED-Plattform gab es zusätzlich die Daten vom Wintersemester 2006/2007.

3.2.1 Welches Computermedium bevorzugen Sie beim Lernen?

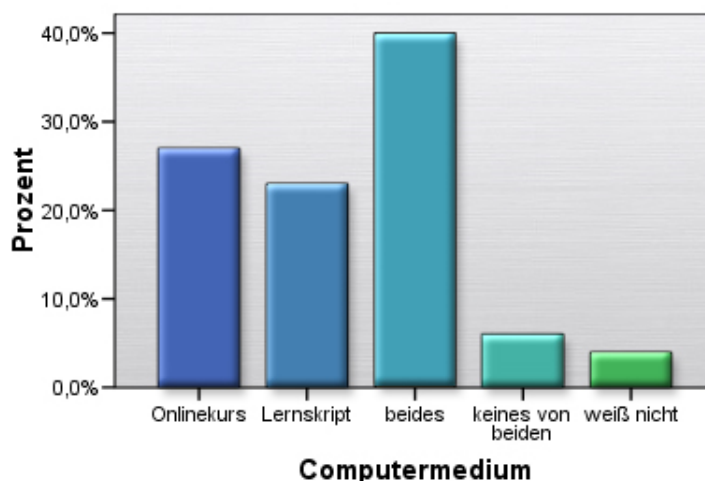


Abbildung 5: Bevorzugtes Computermedium

Bei der Einschätzung des Vorzugs bestimmter Computermidien (*Abbildung 5, S.24*) entschieden sich 26,7% der Befragten für Onlinekurse, 23,7% bevorzugten Lernskripte und 39,7% sprachen sich für beide Lernmedien gleichermaßen aus. Nur 6,1% bevorzugten keines der beiden Medien und 3,8% gaben die Option „weiß nicht“ an. Einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Probanden gab es hierbei nicht.

3.2.2 Über welchen Internetanschluss verfügen sie zu Hause?

92% der Medizinstudierenden des Grundlagenkurses der Radiologie verfügten im Sommersemester 2007 über einen eigenen schnellen DSL- (digitaler Breitband-Internetzugang) oder vergleichbaren Internetzugang (79% DSL-Flatrate, 13% DSL-Zeittarif oder vergleichbare Anschlüsse). Lediglich 4% verfügten über einen langsameren Modem- oder ISDN-Anschluss und weitere 4% über gar keinen eigenen Anschluss (*Abbildung 6*).

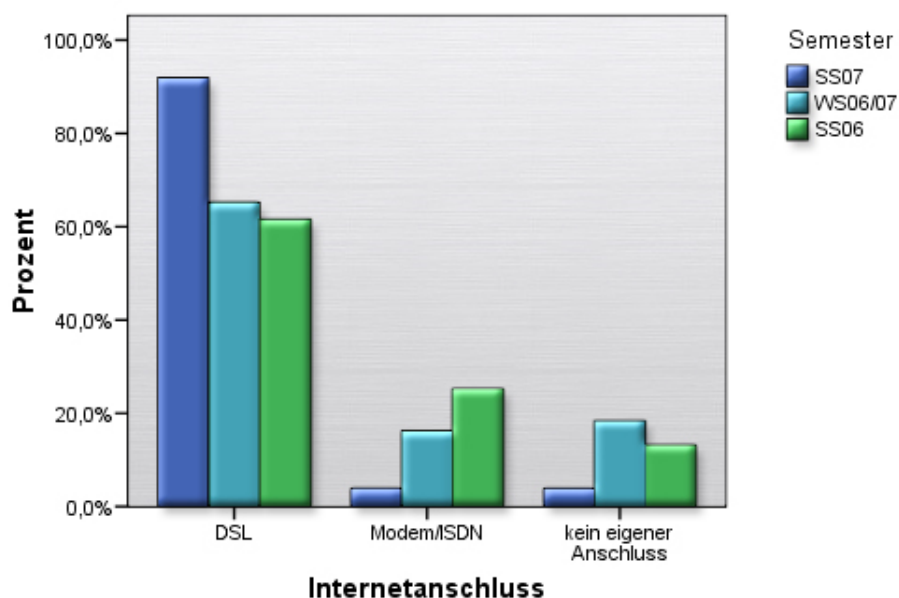


Abbildung 6: Private Internetzugänge

Bei einer Umfrage im Grundlagenkurs der Radiologie im Sommersemester 2006 (Wintersemester 2006/2007), an der 156 (141) Medizinstudierende teilgenommen hatten, belief sich der Anteil an eigenen schnellen Internetzugängen auf 56% (64%), Modem und ISDN kamen auf 23% (16%), 12% (18%) verfügten über gar

keinen eigenen Anschluss. 9% der Befragten im Sommersemester 2006 gaben an, einen anderen Internettarif als die angegebene Auswahl zu haben, dafür gab es im Wintersemester 2006/2007 die Option „weiß nicht“, die 2% der Teilnehmer wählten.

3.2.3 Von wo haben Sie im Regelfall auf die k-MED-Plattform zugegriffen?

77,9% der Studierenden gaben im Sommersemester 2007 an, von zu Hause aus auf die k-MED-Plattform zugegriffen zu haben (*Abbildung 7*). 19,1% taten dies von den Internetplätzen der Universität, 2,3% bei Freunden oder Verwandten. Lediglich 0,8% gaben an, von öffentlichen Einrichtungen wie Internetcafés aus gelernt zu haben. Die Tendenzen in Bezug auf das Wintersemester 2006/2007 gehen dabei in Richtung des eigenen Internetanschlusses zu Hause (Anstieg von 71% auf 77,9%), die Nutzung des universitären PC-Pools ist dagegen als rückläufig zu erkennen (Rückgang von 27% auf 19,1%).

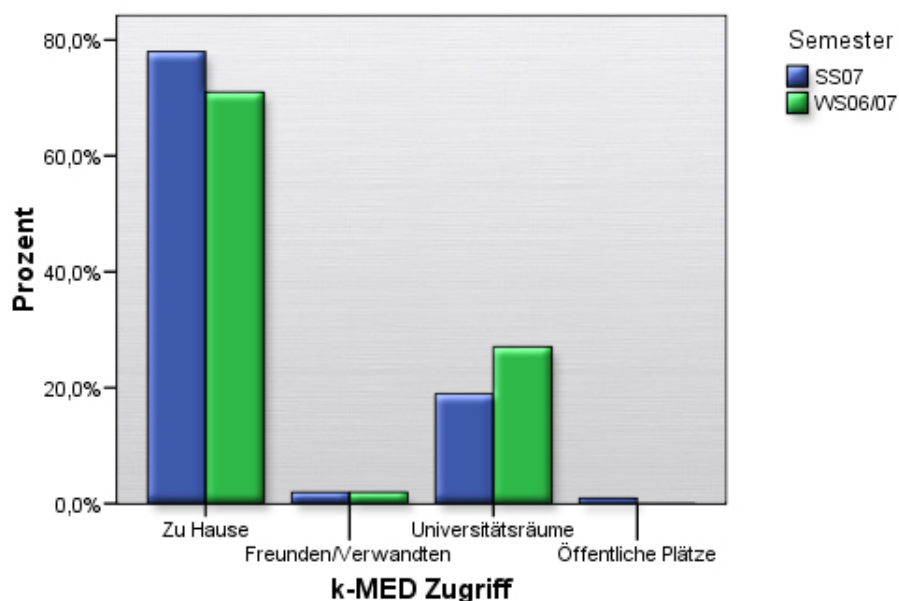


Abbildung 7: Zugriff auf die k-MED-Plattform

3.2.4 Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen

Insgesamt schätzten 71,7% der Studienteilnehmer ihre Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen als positiv (35,1%) bis eher positiv (36,6%) ein. 26,7% entschieden sich für eher negativ (22,1%) bis negativ (4,6%). 1,5 % gaben die Option „weiß nicht“ an (*Abbildung 8*).

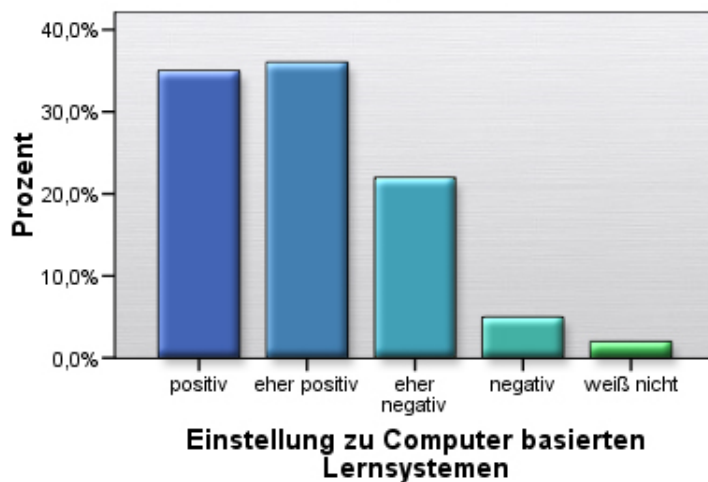


Abbildung 8: Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen

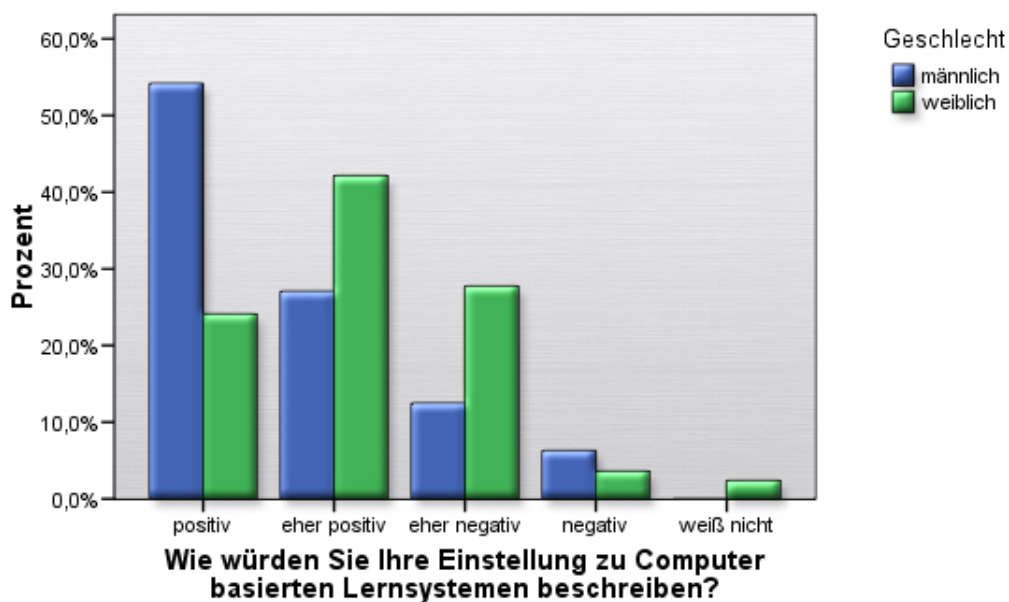


Abbildung 9: Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen (männlich/weiblich)

Die männlichen Probanden bewerteten ihre Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen dabei weitaus positiver. 54% der Männer bezeichneten Ihre Einstellung als positiv, bei den Frauen taten dies nur 24% (Abbildung 9). Insgesamt kam eine positive bis eher positive Bewertung unter den Studentinnen aber immer noch auf 66% (81% bei den Studenten). 32% der weiblichen Probanden schätzten ihre Einstellung als eher negativ (28%) bis negativ (4%) ein, bei den männlichen waren es 19% (eher negativ 13%, negativ 6%). Der Unterschied zwischen Männern

und Frauen bei der Bewertung der Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen ist signifikant auf dem Level $p < 0,01$.

3.2.5 Antworten zur Frage „Haben Sie Vorschläge und Anregungen zur Verbesserung des Lernerfolgs in der Radiologie (freiwillige Angabe)“?

Eine freiwillige Freitextantwort gaben 37 Studierende aus der Gruppe A und 38 Studierende aus der Gruppe B. Insgesamt belief sich die Anzahl auf 75 Studierende, 56 enthielten sich. Im Folgenden wurden ähnliche Antwortgruppen zusammengefasst und in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit aufgezählt. Der prozentuale Anteil in Klammern bezieht sich auf die 75 Studierenden, die diese Frage beantwortet hatten.

1. Die Onlinekurse sind sinnvoll, müssten aber auch ohne Internet bearbeitet werden können. Am besten wäre eine Auswahl zwischen Lernskript und Onlinekurs bei allen Kursen. Onlinekurse ohne Animationen haben keinen Vorteil (37%)
2. Der MRT-Kurs ist im Allgemeinen zu schwer zu verstehen (27%)
3. Parallel zu den Kursen sollten begleitende Vorlesungen oder Seminare angeboten werden. Der Termin für „Meet the Experts“ sollte erst kurz vor der Klausur stattfinden (16%)
4. Die Animationen sind im Allgemeinen sehr gut und hilfreich. Es sollten mehr Animationen und Bilder für die Kurse benutzt werden (15%)
5. Die Fragen zur Überprüfung des Gelernten am Ende der Kurse sind sehr gut. Es sollten mehr Fragen gestellt werden (11%)
6. Es sollte mehr beschriftete Röntgenbilder (mit einem „Rollover“ für den Text) und Beispielbilder geben (8%)
7. Angesprochene Fehler in den Kursen sollten auch verbessert werden! Ein Forum im Anschluss an jeden Onlinekurs wäre hilfreich (5%)

3.3 Ergebnisse der Klausur

Die Abschlussklausur zum Grundlagenkurs Strahlendiagnostik am 04.05.2007 ergab das folgende Ergebnis in Schulnoten: 19% sehr gut, 59% gut, 17% befriedigend, 4% ausreichend und 1% mangelhaft (*Abbildung 10*).

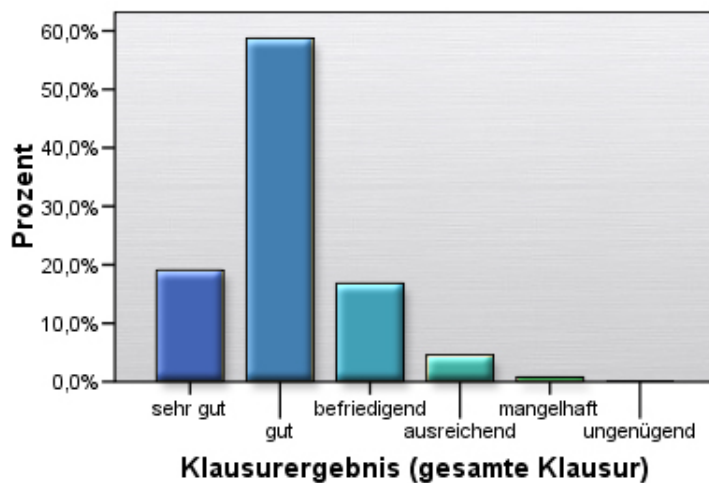


Abbildung 10: Ergebnis der gesamten Klausur (Schulnoten)

Bei den Teilergebnissen der Fragen zur Strahlendiagnostik gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Gruppe A (Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“) und B (Lernskript „Grundlagen der Strahlendiagnostik“). Somit konnte bei keinem der beiden Lernmedien Onlinekurs oder Lernskript ein signifikant höherer Lernerfolg ($p=0,620$) gegenüber dem anderen Medium erzielt werden (Abbildung 11).

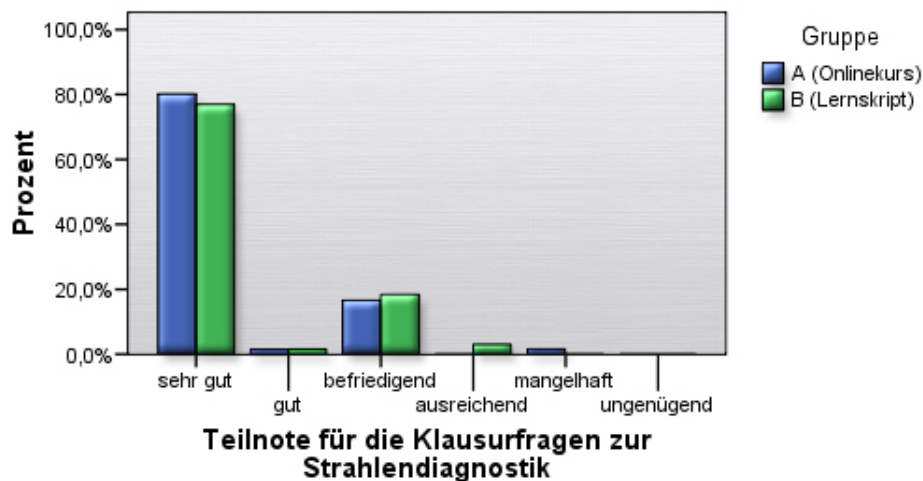


Abbildung 11: Teilergebnis der Klausurfragen zur Strahlendiagnostik

Ebenso verhielt es sich bei den Teilergebnissen der Fragen zum „Grundkurs der Magnetresonanz-Tomographie“ in den Gruppen A und B. Ein statistisch signifikanter Vorteil eines Mediums in Bezug auf den Lernerfolg konnte auch hier nicht ermittelt werden ($p=0,676$).

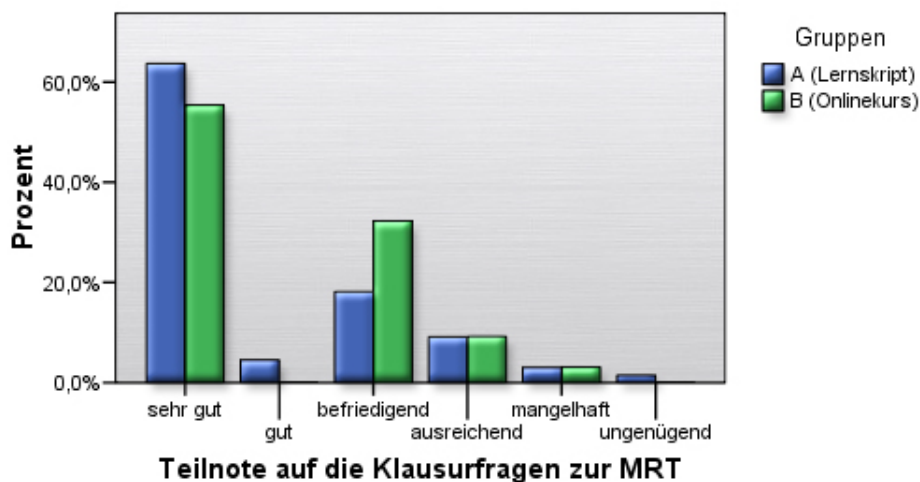


Abbildung 12: Teilergebnis der Klausurfragen zur MRT

Auch in Bezug auf die Geschlechter gab es bei den Gesamt- und Teilergebnissen keine statistisch signifikanten Unterschiede.

4. Diskussion

Die vorliegende Studie befasste sich mit dem Vergleich der elektronischen Medien Onlinekurs und Lernskript. Ursprünglich ging es um die Evaluation eines neu erstellten Onlinekurses zu den Grundlagen der Magnetresonanztomographie auf der k-MED-Plattform. Als Vergleichsmedium wurden für diesen und einen älteren Onlinekurs zwei gleichwertige PDF-Dokumente erstellt. Die Animationen wurden in Textform beschrieben und mit 1-2 Bildern dargestellt. Die interaktiven Übungsaufgaben wurden statisch in Textform, mit den Lösungen auf der Folgeseite umgesetzt. In einem Kreuzversuch mit 131 Studierenden des Grundlagenkurses der Radiologie sollte gezeigt werden, dass die multimedial aufbereiteten Onlinekurse mit teils aufwändigen Animationen und interaktiven Elementen den Lernskripten in Form von PDF-Dokumenten überlegen sind.

Die Auswertung der erhobenen Daten zeigte jedoch, dass eine statistisch signifikante Überlegenheit der Onlinekurse gegenüber den Lernskripten nicht bestätigt werden konnte.

In der Diskussion soll es um eine kritische Auseinandersetzung mit dem methodischen Vorgehen und den Ergebnissen dieser Arbeit gehen. Als Vergleich wurde eine weitere Marburger Studie zu diesem Thema mit einbezogen. Es steht

weiterhin zur Diskussion, welche Konsequenzen die Ergebnisse für die beiden elektronischen Medien Onlinekurs und PDF haben.

4.1 Vergleich mit anderen Studien

Die ca. 200 Millionen im Internet vorliegenden Adobe PDF-Dokumente (Adobe 2008a) erschwerten eine gezielte Suche nach dem Begriff „PDF“. Außerdem wurde keine einheitliche Definition für Lernskripte verwendet. Man fand dieses Medium unter vielen verschiedenen Begriffen, wie z.B. Lernskript, Skript, PDF-Dokument, PDF, Word-Dokument, elektronisches Buch (*electronic book*, *E-Book*) und Handout. Dazu kamen die englischen Schreibweisen und Begriffe.

So konnten trotz langwierigen Recherchen im Internet und in den Katalogen von verschiedenen Universitäts- und Fachbereichsbibliotheken auffällig wenige Studien zum Thema E-Learning mit Lernskripten bzw. PDF-Dokumenten gefunden werden. Meistens wurden PDF-Dokumente nur als Anleitung für E-Learning Einheiten eingesetzt oder als Verweis im Zusammenhang mit Zusatzmaterial erwähnt.

Als Bezug zu dieser Arbeit bot sich eine Marburger Studie des Fachbereichs Radiologie von Gotthardt et al. (Gotthardt M 2006) an, die sich ebenfalls mit dem Vergleich verschiedener Medien beschäftigte.

Sie verglich drei Medien miteinander: ein PDF-Lernskript, ein Onlineskript (HTML basierte Internetseite mit Hyperlinks) und zwei k-MED Onlinekurse. Das PDF stammte aus der Strahlenphysik, das Onlineskript wurde von der Strahlendiagnostik verfasst. Die zwei k-MED Onlinekurse wurden von der Strahlentherapie und von der Nuklearmedizin erstellt.

Die Studie wurde realisiert durch eine Online-Evaluation mittels Fragebogen. Über einen Zeitraum von zwei Semestern nahmen 257 Studierende daran teil.

Die Auswertung der Fragebögen ergab eine klare Bevorzugung der k-MED-Kurse. Der k-MED-Strahlentherapiekurs wurde mit 95%, der k-MED-Nuklearmedizin kurs mit 97% mit „sehr gut“ bis „gut“ bewertet. Demgegenüber schnitten die beiden Medien PDF-Lernskript und Onlineskript weitaus schlechter ab. Das PDF-Lernskript wurde mit 41%, das Onlineskript mit 13% als „sehr gut“ bis „gut“ eingestuft (Schäfer C 2007).

Weiterhin wurden das Textverständnis, die Kombinationen der Bilder und Grafiken mit dem Text, die Beschriftung und Auswahl der Bilder, der allgemeine Aufbau der Lehreinheiten, sowie der subjektiv eingeschätzte Lernerfolg bei den k-MED Onlinekursen besser bewertet als bei den anderen Medien.

Die Erstellung der k-MED Onlinekurse erfolgte durch eine Gruppe von medizinischen Autoren, Webdesignern und Psychologen. Die Medien Onlineskript und PDF-Dokument wurden von den Lehrenden der Strahlendiagnostik bzw. Strahlenphysik erstellt.

Der Inhalt des PDF-Dokuments und des Onlineskripts wurde durch Texte, Bilder und Hyperlinks zur Navigation vermittelt.

Im Onlineskript gab es zusätzlich Verweise zu einigen Animationen zur Veranschaulichung von Volumendatensätzen der Computer- und Magnetresonanztomographie. Es umfasste 10 Kapitel mit insgesamt 19.122 Wörtern auf den Hauptseiten. Rund 390 Hyperlinks verwiesen auf weiterführende Medien und andere Seiten im Internet (Klose K J 2007). Damit war das Onlineskript äußerst umfangreich und durch die vielen Hyperlinks sehr stark strukturell verschachtelt.

Das PDF-Dokument „Grundlagen der Strahlenphysik und der Radioaktivität zu den bildgebenden Verfahren der Radiologie“ bestand aus 2352 Wörtern und war im Gegensatz zu den anderen Medien sowohl inhaltlich als auch designtechnisch eher als „trocken“ einzustufen (Jungclas H 2000). Das 24 Seiten lange Dokument beinhaltete vor allem mathematische Zusammenhänge mit Formeln und Einheiten und zeigte nur wenige, überwiegend schwarzweiße Bilder und Grafiken.

Der k-MED Onlinekurs „Grundlagen der Nuklearmedizin“ zählte, neben vielen Bildern und Grafiken, auf 52 Seiten 5451 Wörter, 6 Animationen, und 10 interaktive Übungsaufgaben.

Der k-MED Onlinekurs „Grundlagen der Strahlentherapie“ wurde ohne Animationen erstellt und umfasste 37 Seiten mit 3565 Wörtern und 5 Übungsaufgaben.

Im Gegensatz zu den Medien Onlinekurs und PDF waren die Informationen in den neu erstellten und multimedial aufbereiteten k-MED Kursen in kleine und übersichtliche Einheiten aufgeteilt. Der Umfang der Informationen pro Seite beschränkte sich auf zwei Kernbotschaften. Die Kursseiten waren bei gängigen Monitorgrößen komplett

auf dem Bildschirm sichtbar und die Themen in 5-8 Untereinheiten strukturiert, gefolgt von einer einseitigen Zusammenfassung. Die Funktionalität und das Design waren bei beiden k-MED Onlinekursen identisch.

Die k-MED Onlinekurse waren sowohl inhaltlich, als auch hinsichtlich der didaktischen, technischen und grafischen Aufarbeitung den Medien Onlineskript und PDF überlegen.

Im Zuge der näheren Betrachtung der Studie von Gotthardt et al. präsentierten sich die verschiedenen Medien sehr unterschiedlich.

Die Inhalte der Kurse mit den Themen Strahlenphysik, Strahlendiagnostik, Nuklearmedizin und Strahlentherapie wurden nicht gleichwertig aufeinander abgestimmt. Das eher „trockene“, in schwarz/weiß gehaltene PDF der Strahlenphysik beinhaltete überwiegend Texte mit vielen physikalischen Formeln. Die anderen Kurse zeigten dagegen vermehrt farbige Bilder, Animationen und medizinisch anschaulichere Inhalte. Die Medien Onlineskript und PDF beinhalteten zudem keine, weder interaktive noch statische Übungsaufgaben zur Kontrolle des neu erworbenen Wissens.

Ebenso unterschied sich der Umfang der Kurse in erheblichem Maße. Das Onlineskript der Strahlendiagnostik umfasste als umfangreichster Kurs 19.100 Wörter, der kürzeste Kurs, das PDF der Strahlenphysik, dagegen nur 2400. Die k-MED Onlinekurse lagen mit 3500 bzw. 5500 Wörtern dazwischen.

Der Aufbau der k-MED Onlinekurse und des PDF-Dokuments der Strahlenphysik erfolgte linear und hierarchisch als Leiterstruktur. Dagegen wurde das Onlineskript mit rund 390 Hyperlinks über eine Baumstruktur mit vernetzter Navigation realisiert. Neben der unterschiedlichen Struktur des Onlineskriptes zu den anderen Kursen, bestand bei dieser umfangreichen Vernetzung der Inhalte die erhöhte Gefahr, die Übersicht über den Kurs zu verlieren. In der Fachliteratur wurde dieses Phänomen der Orientierungslosigkeit durch eine hohe Anzahl an Hyperlinks 1987 von Conklin als „Lost in hyperspace“ bezeichnet (Conklin J 1987).

Für die didaktische und multimediale Aufbereitung wurde für die k-MED Onlinekurse ein Team von Psychologen und Webdesignern zusammengestellt, das neben dem medizinischen Fachpersonal die Inhalte der Kurse fachmännisch aufeinander abstimmen konnte. Im Gegensatz dazu wurden das Onlineskript und das PDF überwiegend durch einen einzelnen Dozenten erstellt. Diese verfügten ebenso

über Fachwissen, erhielten aber keine professionelle Unterstützung bezüglich der Didaktik und des Designs.

Betrachtet man, vor dem Hintergrund dieser im Grunde genommen schwer vergleichbaren Kurse, die Ergebnisse der oben beschriebenen Studie erneut, erscheint das sehr positive Abschneiden der zwei k-MED Onlinekurse gegenüber den anderen beiden Medien in einem anderem Licht. Bei so einem Vergleich liegt es nahe, dass zwei neu erstellte, didaktisch und multimedial professionell aufbereitete k-MED Onlinekurse bei den Studierenden besser abschneiden, als ein eher „trockenes“ PDF mit vielen Formeln und ein sehr umfangreiches und stark verzweigtes Onlineskript.

Ebenso wurden nicht nur die Medien an sich einander gegenübergestellt und miteinander verglichen. Die verschiedenen Lehrinhalte der Kurse verhinderten, dass die Medien in ihrer ursprünglichen Form miteinander verglichen werden konnten. Der unterschiedliche Aufbau und Umfang, sowie die abweichende Struktur führten zu einer Verzerrung der Ergebnisse. Dadurch wurden neben den Medien zwangsläufig auch die verschiedenen Inhalte, Strukturen und Umfänge der Kurse mit einander in Bezug gesetzt.

Die präsentierten Studienergebnisse sagten folglich nicht ausschließlich etwas über die Anwendbarkeit unterschiedlicher Medienformen aus. Dass k-MED Onlinekurse PDF-Dokumenten und Onlineskripten im Allgemeinen überlegen sind, kann in diesem Zusammenhang angezweifelt werden.

Die vorliegende Arbeit unterscheidet sich von der oben angeführten Studie u.a. darin, dass die miteinander verglichenen Medien Onlinekurs und Lernskript vor Beginn der Studie möglichst gleichwertig auf einander abgestimmt wurden.

Das PDF-Lernskript wurde auf der Grundlage der Onlinekurse erstellt. Folglich unterschieden sich die Onlinekurse von den Lernskripten nur in Bezug auf das Medium, die Animationen und die interaktiven Übungsaufgaben, nicht aber durch deren Inhalte. Die Texte, Bilder und der übersichtlich gestaltete Aufbau der Lehreinheiten wurden 1:1 von den Onlinekursen auf die Lernskripte übertragen, die Animationen in Textform beschrieben und die interaktiven Übungsaufgaben als statische Fragen realisierten. Auch die grafische Aufbereitung der PDF-Dokumente, sowie ihre interaktiven Inhaltsverzeichnisse (Hyperlinks) orientierten sich an den Onlinekursen der k-MED-Plattform.

Die Datenerhebung erfolgte durch einen Fragebogen und eine Semesterabschlussklausur. Es fand eine subjektive Bewertung der Medien durch den Online-Fragebogen statt. Die Abschlussklausur ermöglichte durch ihre Ergebnisse einen objektiven Vergleich der beiden Medien anhand des Lernerfolgs.

4.2 Kritische Bewertung der Ergebnisse

In der vorliegenden kontrollierten und randomisierten experimentellen Studie mit einer Studienpopulation von 131 Studierenden ging es um den Vergleich der Medien Onlinekurs und Lernskript in Form eines PDF-Dokuments.

Durch eine ausführliche Beratung und Betreuung seitens der Forschungsgruppe „Instruktion und Interaktive Medien“ unter der Leitung von Prof. Dr. Ulrich Glowalla und der Betreuung von Dipl.-Psych. Cord Süße wurde der Vergleich als Kreuzversuch zwischen den beiden Gruppen A und B realisiert.

Zwei verschiedenen Onlinekursen wurden zwei gleichwertige PDF-Dokumente gegenübergestellt. Die Gruppe A erhielt den Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ und das PDF „Grundlagenkurses der Magnetresonanztomographie“. Für die Gruppe B wurden die Medien zu den Kursen getauscht.

Damit standen den zwei Gruppen beide Kursthemen mit den jeweils anderen Medien zur Verfügung. Im Vergleich zwischen den beiden Gruppen konnte der Lernerfolg zu den jeweiligen Themen und Medien aufgrund der Teilergebnisse der Abschlussklausur objektiv bewertet werden.

Die Gruppeneinteilung erfolgte mit Hilfe einer Quasi Randomisierung. Da sich die Teilnehmer des Grundlagenkurses der Radiologie auf der k-MED-Plattform anmelden mussten, erschien es als das Einfachste, die Probanden nach dem Eingehen dieser Anmeldung abwechselnd den Gruppe A und B zuzuweisen. Eine echte zufällige Einteilung z.B. durch einen vorgegebenen, nach einem Zufallsprinzip erstellten Einteilungsbogen erfolgte nicht. Die Anzahl der Gruppenteilnehmer, das Durchschnittsalter und die Geschlechterverteilung waren nach dieser Zuordnung in den beiden Gruppen nicht statistisch signifikant unterschiedlich. Eine Strukturgleichheit der Gruppen konnte somit sichergestellt werden.

Bei der Online-Umfrage in den Gruppen handelte es sich nicht um einen standardisierten und validierten Fragebogen, sondern um einen selbst erstellten Fragebogen. Die Erstellung des Online-Fragebogens erfolgte in Zusammenarbeit

mit dem Dipl.-Psych. Cord Süße von der Forschungsgruppe „Instruktion und Interaktive Medien“.

Es wurden verschiedene Bewertungsskalen verwendet. Die Antworten variierten zwischen vier und sechs Möglichkeiten, auf dem Hintergrund, dass sich die Probanden bei der Bewertung für eine Richtung entscheiden mussten. Dies geschah, damit das Phänomen der so genannten „zentralen Tendenz“ oder der „Tendenz zur Mitte“ (Mittelwertorientierung) umgangen werden konnte (Amundis 2007). Die Probanden mussten durch Fehlen eines Mittelwertes auch im Falle von Unsicherheit einen positiven bzw. negativen Trend angeben.

Der Fragenbogen konnte durch zwei Probedurchläufe im Sommersemester 2006 und im Wintersemester 2006/2007 verbessert und Fehlerquellen beseitigt werden. Eingesetzt wurde er im Sommersemester 2007.

Da als Anreiz für die vollständige Beantwortung des freiwilligen Fragebogens jedem Studierenden ein Punkt für die Abschlussklausur gutgeschrieben werden sollte, konnten am Ende alle 131 Fragebögen für die Auswertung herangezogen werden. Der Rücklauf lag damit bei 100%.

Zu Beginn des Semesters wurde den Studierenden in einer Eingangsveranstaltung die Einteilung in die beiden Gruppen angekündigt. Sie wurden gebeten, nur die Medien ihrer Gruppe als Vorbereitung für die Klausur zu benutzen. Die Möglichkeit des Medienaustausches musste aber für beide Medien als mögliche Fehlerquelle der Studie in Betracht gezogen werden.

Theoretisch hatten die Studierenden also die Möglichkeit beide Onlinekurse zu bearbeiten. Die Kurse lagen frei zugänglich im Ordner der radiologischen Diagnostik auf der k-MED-Plattform. Auf dem persönlichen Schreibtisch fanden die Probanden jedoch nur die offiziell zugeteilten Lernmedien der Gruppe A bzw. B vor.

Anhand einer Untersuchung der Benutzerdaten (User tracking Daten) der k-MED-Plattform konnte gezeigt werden, dass aus beiden Gruppen insgesamt 30 Studierende die Möglichkeit beide Onlinekurse zu bearbeiten, tatsächlich genutzt hatten. Aus der Gruppe A taten dies 18 von 66 Studierenden (27,3%) und in der Gruppe B 12 von 65 (18,5%). Die Kurse wurden dabei von allen diesen Teilnehmern für länger als 10 Minuten bearbeitet, was für die Nutzung des Mehrwertes gegenüber den Lernskripten (Animationen und interaktive Übungsaufgaben) als ausreichend angenommen werden konnte.

Bei einer Intention-to-treat-Analyse werden solche Cross-over-Probanden in den Gruppen belassen, in die sie zu Beginn auch eingeteilt wurden. Dies geschieht unabhängig davon, welche Kurse sie tatsächlich bearbeitet hatten (Kleespies C 2005). Da diese Analyseform den Standard bei Cross-over-Patienten darstellt, wurde sie auch bei der vorliegenden Arbeit angewandt. Die Teilnehmer, die beide Medien eines Themas bearbeitet hatten, wurden in den Gruppen belassen und nach der ursprünglichen Einteilung ausgewertet. Eine Testuntersuchung der Daten mit Herausnahme dieser Probanden beeinflusste das Resultat dieser Studie statistisch nicht signifikant, die Aussagen blieben die Gleichen.

Genauso war es den Studierenden möglich, die Lernskripte beider Gruppen zu bearbeiten. Hierzu gab es keine Nutzerdaten wie bei den Onlinekursen. Es ist daher nicht auszuschließen, dass Teilnehmer der Studie das PDF der jeweils anderen Gruppe eingesehen haben, auch wenn die Lernskripte auf der k-MED-Plattform schlechter auffindbar waren.

Die Lernskripte boten allerdings nur einen Mehrwert gegenüber den Onlinekursen in der Hinsicht, dass sie von den Studierenden ausgedruckt werden konnten. Im Gegenzug dazu verfügten sie, bei gleichem Inhalt, über keine Animationen und keine interaktiven Übungsaufgaben. Wer den Onlinekurs bearbeitet hatte, kannte den Inhalt des zugehörigen PDF-Dokuments bereits.

4.3 Der Effekt von Animationen auf den Lernerfolg

Oft impliziert der Einsatz von Multimedia einen Grad an Effektivität, der nur selten in Frage gestellt wird. Für die Überlegenheit von Multimedia fehlen aber ausreichende empirische Belege (Lewalter D 2003).

Nach Kerres kann von einer grundsätzlichen Überlegenheit der „neuen“ Lernformen des E-Learning gegenüber der konventionellen Lehre keineswegs ausgegangen werden (Kerres M 2001b). Schnotz schrieb hierzu, dass „sich mit den neuen Medien ebenso viele effektive wie ineffektive Lehr-Lern-Szenarien realisieren lassen, wie mit traditionellen Printmedien“ (Schnotz W 2001).

Das Medium ist hierbei weniger entscheidend, als viel mehr die angewandte Methode der Lehreinheit bzw. des Unterrichts und inwiefern bestimmte Medien den Lernenden auch tatsächlich beim Wissenserwerb unterstützen (Schulmeister R 1997).

Lerntheorien zufolge ist der Lernerfolg abhängig von der Präsentation des zu vermittelnden Stoffes.

Die doppelte Codierungstheorie nach Paivio (Paivio A 1986) besagt, dass der Lernerfolg beim Lernen mit gut auf den Text abgestimmten Bildern größer ist, als beim Lernen mit Texten ohne Bilder. Eine Aufnahme der Daten über zwei unterschiedliche Subsysteme im Gehirn (verbale und imaginale Codierung) sorgt für eine verbesserte Verankerung des neu erworbenen Wissens. Ein hohes Maß an Vorwissen ermöglicht dagegen auch ohne Bilder eine mentale Modellkonstruktion. Lernende mit niedrigem Wissenstand sind im Gegensatz dazu eher auf eine Bildunterstützung angewiesen (Schnotz 2003).

Die Ergebnisse einer Untersuchung von Lewalter (Lewalter D 1997) zeigten, dass bei der Verwendung von Animationen im Vergleich zu statischen Bildern keine Verbesserung des Lernerfolgs erreicht werden konnte. Die Studie wurde mit 60 Probanden realisiert. Es mussten je 20 Probanden aus verschiedenen Fachbereichen (Pädagogik, Sozialpädagogik, Psychologie, Informatik und Lehramt) eine Animations-, eine Bild- und eine Textversion eines Computer basierten Lernkurses bearbeiten. Bei einer anschließenden Prüfung des Faktenwissens und des Verständnisses schnitten die Animations- und Bildversionen gleich gut ab, die Textversion zeigte signifikant schlechtere Ergebnisse. Es konnte hierbei eine Effektivitätssteigerung durch Animationen und Bilder in Lerntexten für den Lernerfolg ermittelt werden. Die Erwartung, dass Animationen, besonders auch bei der Darstellung von Bewegungsabläufen, besser abschneiden würden als statische Bilder, konnte hierbei jedoch nicht bestätigt werden.

Auch Weidenmann (Weidenmann B 1997) beschrieb, dass Codierungsformen, wie Lehrfilme und leicht erkennbare Abbildungen einfacher von Lernenden wahrgenommen werden könnten, als reine Textdarbietungen. Die Motivation der Lernenden stieg aufgrund der vereinfachten Codierungsformen an. Der eigentliche Lerninhalt wurde dagegen nur oberflächlich verarbeitet, weil wenig geistige Arbeit erbracht werden musste. Aufgrund dieser oberflächlichen Wahrnehmung wurde der Lernerfolg vermindert (Müller M 2004). Möglicherweise wurde der Lerninhalt als so leichtverständlich wahrgenommen, dass den Lernenden eine tiefere Auseinandersetzung mit dem Inhalt nicht notwendig erschien. Dies wird in der Literatur als „Illusion von Wissen“ (*illusion of knowing*) beschrieben (Blömeke S 2003).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen darauf hin, dass der Lernerfolg unabhängig von den angewandten Medien PDF-Lernskript und Onlinekurs zu sehen ist. Das Lernen mit einem aufwändig erstellten, multimedialen Onlinekurs weist im Vergleich zu einem gleichwertigen Lernskript als PDF keinen Mehrwert hinsichtlich des Lernerfolgs auf.

4.4 E-Learning mit PDF-Dokumenten

Das PDF bietet viele Vorzüge konventioneller Bücher und Computer basierter Medien gleichermaßen. Man kann in PDF-Dokumenten Textstellen unterschiedlich farbig markieren, an beliebigen Stellen Notizen hinzuzufügen, in den Notizen suchen, die Notizen exportieren und vieles mehr. Ebenso unterstützen den Lernenden Hyperlinks zu anderen Textstellen (z.B. im Inhaltsverzeichnis) oder zu relevanten Internetseiten. Es gibt die Möglichkeiten, die Darstellung zu vergrößern und zu verkleinern, Textstellen zu kopieren oder zu drucken. Eine umfassende Suchfunktion ermöglicht das schnelle Nachschlagen von bestimmten Begriffen. Da PDF-Dokumente in der Erstellung einfach zu handhaben sind, lassen sich Inhalte in diesem Format auch in Bezug auf die neuesten Forschungsergebnisse und Trends ohne viel Aufwand für die Lehre aktualisieren.

Im Vergleich dazu existiert bei Onlinekursen eine nicht zu unterschätzende Trägheit des Mediums, die nicht aus den technischen Voraussetzungen resultiert, sondern aus der aufwändigen Produktion. Für die Erstellung einer Kursstunde eines Onlinekurses müssen im Durchschnitt ca. 400 Programmierstunden veranschlagt werden. Auch einen Onlinekurs zu aktualisieren erfordert einen erheblichen zeitlichen Aufwand. Es ist nicht zu vermeiden, dass es „zu starken Verzögerungen der multimedialen Integration“ kommt (Sesink W 2003).

Diese Problematik wurde auch von den Studierenden der vorliegenden Studie wahrgenommen und von ihnen bei den Freitextantworten des Online-Fragebogens angegeben. Fehler in den k-MED Onlinekursen, die bei „Meet the experts“ schon in vorherigen Semestern von den Studierenden bemängelt worden waren, wurden bis heute nicht verbessert.

Eine Aktualisierung der Kurse konnte bei dem bisher vorhandenen Konzept (k-MED) nur über den jeweiligen Autor geschehen, der sich in einem speziellen

Autorensystem einloggen, den Kurs verändern und ihn als speziell verpackte Datei speichern musste. Anschließend musste die Datei von einem k-MED Administrator wieder auf die Plattform geladen werden.

PDF-Dokumente lassen sich im Gegensatz dazu relativ einfach z.B. mit dem weit verbreiteten Programm Word von Microsoft (ab der Version 2007), Indesign von Adobe oder dem kostenlosen Programm „Open-Office“ erstellen und verändern. Auch können die Daten an andere Dozenten zur Überarbeitung, z.B. über E-Mail, weitergereicht werden. Das Hochladen der PDF-Dokumente auf Fachbereichsseiten im Internet kann heutzutage relativ einfach über kostenlose Standardprogramme von beliebigen autorisierten Personen umgesetzt werden.

Seit 2003 besteht die Möglichkeit, Filme und Animationen in das Dokumentenformat zu integrieren (Koren G 2003). Somit lassen sich auch Filme (MPEG, SWF, QuickTime und AVI), Audiodateien (WAV, AIF und AU) und Animationen (SWF) in PDF-Dokumente einbetten und ausführen (Adobe 2008b).

Da sich dieses plattformunabhängige Format heutzutage neben Desktop Computern, Notebooks, Netbooks und E-Book-Readern auch auf kompakten Computersystemen wie PDAs, Handhelds und Smartphones online und offline ausführen und bearbeiten lässt, wird das Medium PDF in Zukunft auch im Bereich des elektronischen und mobilen Lernens eine wachsende Rolle spielen.

4.5 Voraussetzungen für das E-Learning in der Medizin

Bei der Betrachtung der medizinischen Ausbildung in Deutschland lässt sich unschwer erkennen, dass Computer und elektronische Medien nicht mehr wegzudenken sind.

Die technischen Voraussetzungen der Studierenden für die Einbindung digitaler Medien in die Lehre sind heutzutage weitestgehend erfüllt. Verschiedene Studien von medizinischen Fachbereichen von Universitäten des deutschsprachigen Raumes bestätigen diese Entwicklung. So verfügten bereits im Wintersemester 2002/2003 Medizinstudierende der Universität Zürich zu 96% über einen eigenen Zugang zu einem Computer mit Internet-Anschluss (29% DSL, 67% Modem/ISDN) (Käser L 2004). 95 % benutzen das Internet wöchentlich, 57% sogar täglich und mehr als 99% waren über E-Mail erreichbar.

Nach einer Umfrage der SwissMedEL (community of the e-learning coordinators of the Swiss Medical Faculties) von 2006 (SwissMedEL 2006) verfügten 95,3% der 2031 befragten Medizinstudierenden der Universitäten Basel, Bern, Genf, Lausanne und Zürich über einen privaten Internetzugang (78,9% DSL, 10% Modem/ISDN). 73,7% besaßen einen mobilen Computer (Notebook, Tablet-PC), 54,4% ein multimediafähiges Handy (MP3, Kamera, etc.) und 11,1% einen PDA, bzw. Handheld. Ebenso erbrachte eine Befragung im Zeitraum von 2001 bis 2002 von 889 Medizinstudenten an 31 deutschen Universitäten und Hochschulen, dass 90,6% über einen eigenen Internetanschluss verfügten (Rosendahl J 2003).

Die Medizinstudierenden des Grundlagenkurses der Radiologie der Philipps Universität Marburg verfügten im Sommersemester 2007 bereits zu 96% über einen eigenen Internetzugang. Mit 92% war der Anteil der DSL-Anschlüsse im Vergleich zu den anderen Studien aus den Jahren 2001 bis 2006 überdurchschnittlich hoch. Hinsichtlich der technischen Ausstattung und dem Zugriffsort auf die E-Learning Angebote war im Vergleich zum Sommersemester 2006 und dem Wintersemester 2006/2007 eine deutlich positive Entwicklung zu beobachten.

Die technischen Voraussetzungen für die erfolgreiche Einbindung von elektronischen Medien in die medizinische Ausbildung sind demnach auch für die Marburger Medizinstudierenden als erfüllt anzusehen.

5. Schlussfolgerung

Das Lernen mit Hilfe von Onlinekursen führte im Vergleich zum Lernen mit gleichwertigen PDF-Lernskripten zu keinem signifikant besseren oder schlechteren Lernerfolg. Da Onlinekurse durch Animationen und interaktive Übungsaufgaben in der Planung und Erstellung sehr viel zeitaufwändiger und damit teurer als gleichwertige PDF-Lernskripte sind, stellt sich die Frage, ob es sich in Zukunft weiterhin lohnen wird, in multimediale Onlinekurse zu investieren.

Die Kombination von Texten, Bildern, Animationen und interaktiven Übungsaufgaben der Onlinekurse hatte keinen Vorteil in Bezug auf den Lernerfolg gegenüber den einfachen Texten und Bildern in den Lernskripten. Eine vermehrte Erstellung von Lernskripten als PDF wäre nach den Ergebnissen dieser Studie somit eine sinnvolle Ergänzung zur Steigerung der Aktualität und der wirtschaftlichen Effizienz des E-Learnings in der medizinischen Ausbildung. Die Kosten und der Zeitaufwand zur Erstellung der Lehreinheiten würden sich durch das Einbeziehen von Lernskripten minimieren, ohne dabei den Lernerfolg oder das Lernangebot zu beeinflussen.

Da die verschiedenen Förderprogramme für die Finanzierung der medizinischen E-Learning Projekte entweder schon ausgelaufen sind oder dies in absehbarer Zeit sein werden, stellt die wirtschaftliche Effizienz einen sehr wichtigen Aspekt für die Zukunft dieser Projekte dar (Leven F J 2006). Die Vermarktung von vorhandenen Lernkursen außerhalb der medizinischen Fakultäten konnte nach bisherigen Erkenntnissen nicht genügend Mittel erwirtschaften, um weiterhin ausreichend in die bestehenden Projekte investieren zu können. Somit werden die Fakultäten in Zukunft selbst die Gelder für das E-Learning zur Verfügung stellen müssen. Denn dies scheint „im Informationszeitalter, auch in der Medizinausbildung, ein nicht zu unterschätzender Bestandteil einer qualitativ hochwertigen Ausbildung zu sein“ (Leven F J 2006).

PDF-Dokumente als elektronische Lernmedien wären daher eine sinnvolle Maßnahme zur Minimierung erforderlicher Investitionen. Zusatzqualifikationen der Autoren, wie z.B. für die Erstellung von Animationen und der Umgang mit speziellen Autorenumgebungen auf verschiedenen E-Learning Plattformen, wären nicht mehr zwingend erforderlich. Neu erstellte oder aktualisierte PDF-Dokumente, die mit Microsoft Word oder dem kostenlosen Open Office erstellt werden können, ließen

sich unkompliziert in beliebige Internetseiten einbinden und von verschiedenen Autoren pflegen.

Die Umfrageergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstützen diesen Ansatz. Die Studierenden stuften ihre Akzeptanz zum Medium Lernskript mit 87% signifikant höher ein, als zum Medium Onlinekurs mit 77,1%. Ebenso begrüßten es 84,7%, wenn ihnen im Rahmen ihrer Ausbildung mehr Lernskripte zur Verfügung gestellt werden würden. Bei den Onlinekursen stimmten dem nur 61,1% zu.

Die rasante technische Entwicklung mit kabellos internetfähigen Notebooks, Netbooks, E-Book-Readern und Taschencomputern (PDA, Handheld, Smartphone, etc.) wird auch die Zukunft des elektronischen und mobilen Lernens in der medizinischen Ausbildung weiter prägen. Da PDF-Dokumente auf kompakten Computersystemen und den gängigen Betriebssystemen ausführbar sind und sein werden, stellen sie eine hoch interessante, kostengünstige und zukunftsweisende Alternative zu den bestehenden E-Learning Autorenwerkzeugen dar. Aus Produzenten- und Anwendersicht spricht heutzutage vieles für den Einsatz des PDF-Formats (Schallehn V 2004).

6. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Evaluation des k-MED Onlinekurses „Grundlagen der Magnetresonanz-Tomographie“ des Fachbereichs Radiologie der Philipps-Universität Marburg. Für die Hypothese, dass Onlinekurse mit Animationen und interaktiven Übungsaufgaben gleichwertigen Lernskripten ohne entsprechende Elemente überlegen sind, sollte ein Beleg gefunden werden. Die Onlinekurse wurden auf Basis des lizenzfreien Lern-Management-Systems ILIAS (k-MED) realisiert.

Die kontrollierte, randomisierte und experimentelle Studie wurde in Form eines Kreuzversuches angelegt. Im Sommersemester 2007 wurden 131 Studierende des Grundlagenkurses der Radiologie in zwei Gruppen A (66 Probanden) und B (65 Probanden) eingeteilt. Zwei inhaltlich verschiedenen Onlinekursen wurden zwei gleichwertige PDF-Dokumente gegenübergestellt. Beide Medien wurden über eine Lernplattform zur Nutzung angeboten. Die Gruppe A erhielt den Onlinekurs „Grundlagen der Strahlendiagnostik“ und das PDF „Grundlagenkurs der Magnetresonanz-Tomographie“. Die Gruppe B erhielt den Onlinekurs

„Grundlagenkurs der Magnetresonanz-Tomographie“ und das PDF „Grundlagen der Strahlendiagnostik“. Damit standen jeder Gruppe beide Medien (Onlinekurs und Lernskript) zur Verfügung. Aufgrund der Teilergebnisse der Abschlussklausur konnte der Lernerfolg zu den jeweiligen Themen und Medien im Vergleich zwischen den beiden Gruppen bewertet werden.

Zusätzlich gab es einen selbst erstellten Online-Fragebogen, der auf freiwilliger Basis beantwortet werden konnte. Als Anreiz für das Ausfüllen des Fragebogens wurde den Studierenden nach der kompletten Bearbeitung ein Punkt für die Abschlussklausur gutgeschrieben. Die Rücklaufquote der Umfrage lag bei 100%. Die Auswertung des Fragebogens ergab, dass die Studierenden mit 87% das Lernen mit Lernskripten in der Ausbildung als sinnvoll erachteten. Bei den Onlinekursen stimmten dem nur 77,1% zu.

Die gleiche Tendenz zeigte sich bei der Frage, ob die Studierenden es begrüßen würden, wenn mehr Onlinekurse bzw. Lernskripte im Rahmen ihrer Ausbildung zur Verfügung gestellt werden würden. Dem stimmten bei den Lernskripten 84,7% zu, bei den Onlinekursen nur 61,1%.

Weiterhin erachteten 80% die Ausdruckbarkeit von Lernmedien als wichtig. Den Vorzug bestimmter Computermedien gaben 26,7% der Befragten den Onlinekursen, 23,7% bevorzugten Lernskripte und 39,7% sprachen sich für beide Lernmedien gleichermaßen aus. Diese Zahlen wurden durch die häufigste Freitextantwort des Fragebogens bestätigt, in der die Studierenden für jede Lerneinheit auf der k-MED-Plattform ein gleichwertiges Lernskript als PDF forderten.

Die technischen Voraussetzungen für die Umsetzung von Computer basiertem Lernen konnten laut Umfrage im Sommersemester 2007 als ausreichend erfüllt betrachtet werden. 96% der Studienteilnehmer verfügten über einen eigenen Internetanschluss. 92% hatten einen DSL- oder vergleichbar schnellen Zugang zum Internet.

Überraschend waren die Ergebnisse zum Lernerfolg in Bezug auf die beiden elektronischen Medien. Zwischen den beiden Gruppen und damit zwischen den beiden Medien Onlinekurs und Lernskript als PDF konnte in Bezug auf den Lernerfolg kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Aufwändig erstellte Onlinekurse mit Texten, Bildern, Animationen und interaktiven Übungsaufgaben ergaben keinen signifikanten Vorteil in Bezug auf den Lernerfolg gegenüber den gleichwertigen Kursen als PDF-Dokument mit ausschließlich Texten, Bildern

und einfachen Übungsaufgaben. Die Hypothese, dass multimediale Onlinekurse gleichwertigen PDF-Dokumenten überlegen sind, konnte somit nicht bestätigt werden.

Wenn aufwändige und damit teure Onlinekurse gegenüber einfacheren Lernskripten (z.B. zum Download als PDF angeboten) keine Vorteile in Bezug auf den Lernerfolg der Studierenden haben, stellt sich die Frage, inwiefern es sich weiterhin lohnt, in die Erstellung neuer Onlinekurse zu investieren.

Lernskripte lassen sich u.a. bei Bedarf einfach ausdrucken, offline am Bildschirm bearbeiten, sie bieten eine umfangreiche Suchfunktion und die Möglichkeit Abschnitte zu markieren oder mit Notizen zu versehen. Hyperlinks und Lesezeichen sorgen für eine einfache und übersichtliche Navigation. Das Format unterstützt technische Hilfsmittel zur Barrierefreiheit bei z.B. Sehbehinderungen. PDF-Dokumente lassen sich einfach über kostenlose Programme erstellen und bearbeiten. Es ist ein plattformunabhängiges Online- und Offline-Format und kann somit auf allen gängigen Betriebssystemen über den kostenlosen Acrobat Reader von Adobe geöffnet und bearbeitet werden. Damit ist das Format neben Desktop Computern, Notebooks, Netbooks und E-Book-Readern auch für kompakte Computersysteme wie PDAs, Handhelds und Smartphones geeignet.

Die vielen Möglichkeiten und die kostengünstige Erstellung machen aus dem weit verbreiteten, aber bislang für das E-Learning unterschätzten Format ein hochinteressantes Medium für zukünftige elektronische und mobile Lernprojekte. Die vermehrte Bereitstellung von Lernskripten als PDF wäre also nicht nur eine sinnvolle Maßnahme zur Steigerung der wirtschaftlichen Effizienz der elektronischen Lehre, sie böte zudem auch viele weitere Vorteile gegenüber den hierarchisch und linear aufgebauten multimedialen Onlinekursen der k-MED-Plattform.

7. Abkürzungsverzeichnis

AIF	Audio Interchange File Format (digitales Audioformat)
AVI	Audio Video Interleaved (digitales Videoformat)
bzw.	beziehungsweise
CBL	Computer basiertes Lernen
CBT	Computer basiertes Training
DSL	Digital Subscriber Line (digitaler Internetanschluss)
Et al.	et alii bzw. et aliae (lateinisch für „und andere“)
Etc.	et cetera (lateinisch für „und die übrigen“)
HTML	Hypertext Markup Language (Hypertext-Auszeichnungssprache)
ISDN	Integrated Services Digital Network (digitales Telefonnetz)
k-MED	Knowledge-based Multimedia Medical Education
LMS	Learnig Management System
MPEG	Moving Picture Experts Group (digitales Videoformat)
MRT	Magnetresonanz-Tomographie
p	Signifikanzniveau (z.B. 0,05 steht für 5%)
PC	Personalcomputer
PDA	Personal digital Assistant
PDF	Portable Document Format
SCORM	Sharable Content Object Reference Model (Standard)
SD	Strahlendiagnostik
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SWF	Small Web Format (Adobe Flash-Animationen)
u.a.	unter anderem
URL	Uniform Resource Locator
WAV	WAVE (digitales Audioformat)
WBL	Web basiertes Lernen
WBT	Web basiertes Training
WWW	World Wide Web
z.B.	zum Beispiel

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich der Einstellung zu Onlinekursen und Lernskripten.....	22
Abbildung 2: Vergleich der Einstellung zu mehr Onlinekursen und Lernskripten in der Ausbildung.....	22
Abbildung 3: Wichtigkeit Lehrmaterial ausdrucken zu können in Bezug auf den tatsächlichen Ausdruck.....	23
Abbildung 4: Mehr Lernskripte in der medizinischen Ausbildung?.....	23
Abbildung 5: Bevorzugtes Computermedium.....	24
Abbildung 6: Private Internetzugänge.....	25
Abbildung 7: zugriff auf die k-MED-Plattform.....	26
Abbildung 8: Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen.....	27
Abbildung 9: Einstellung zu Computer basierten Lernsystemen (m/w).....	28
Abbildung 10: Ergebnis der gesamten Klausur (Schulnoten).....	29
Abbildung 11: Teilergebnis der Klausurfragen zur Strahlendiagnostik.....	29
Abbildung 12: Teilergebnis der Klausurfragen zur MRT.....	30

9. Literatur- und Quellenverzeichnis

ADL (2006), „SCORM 2004 3rd EDITION, Sharable Content Object Reference Model, Overview“, Advanced Distributed Learning, <http://www.adlnet.gov>

Adobe. (2008a), „Adobe Portable Document Format“, <http://www.adobe.com/de/products/acrobat/adobe.pdf.html>

Adobe. (2008b), „Hinzufügen von Filmen und Audiodateien zu Dokumenten (Indesign CS3)“, <http://help.adobe.com/>

Amundis. (2007), „Leitfaden für die Erstellung eines Fragebogens“, amundis communications GmbH, <http://www.2ask.net>

Armstrong C, E. L., Lonsdale R (2002), „Virtually there? E-Books in UK academic libraries“, Program: electronic library and information systems 36 (4), S. 216-227., Publisher,

Baumann T (2004), „Blended Learning - Verändert eLearning die Didaktik? Pädagogische Hochschule Zürich“, S.11, <http://elearning.zhaw.ch/forum/-/elearningforum-007-thomas-baumann.pdf>

Baumgartner P (2003), „E-Learning: Lerntheorien und Lernwerkzeuge“, Österreichische Zeitung für Berufsbildung, Heft 3, 02/03, S.3-4, Publisher, http://homepage.univie.ac.at/christian.sitte/FD/artikel/Baumgartner_e-learning_oezb3a_02_03.pdf

Baumgartner P, H. H., Maier-Häfele K, (2002), „E-Learning Praxishandbuch - Auswahl von Lernplattformen, Marktübersicht – Funktionen – Fachbegriffe“, Studien Verlag Ges.m.b.H. Innsbruck, S. 15 ff

Blömeke S (2003), „Lehren und Lernen mit neuen Medien – Forschungsstand und Forschungsperspektiven“, Unterrichtswissenschaft, Zeitschrift für Lernforschung, Juventa Verlag GmbH, Weinheim, Vol 31, S. 57-82, Publisher,

- Bransford J D, w. t. C. a. T. G. a. V. (2000), „Advances in instructional psychology: Educational design and cognitive science (Vol. 5, pp. 35-99)“, In R. Glaser (Ed.), Advances in instructional psychology (Vol. 5). (pp.35-99) Mahwah, NJ: Erlbaum.,
- Bry F, K. M. (2002), „Perspectives for electronic books in the World Wide Web age“, The Electronic Library 20 (4), S. 275-287, Publisher,
- CERN (2008), „The website of the world’s first-ever web server“, CERN - Web Communications, <http://info.cern.ch/>
- Conklin J (1987), „Hypertext: An Introduction and Survey“, IEEE Computer, 20(9), S. 17-41
- Cooper P (1993), „Paradigm Shifts in Designed Instruction: From Behaviorism to Cognitivism to Constructivism“, Educational Technology, Heft 5, S.12-19, Publisher,
- Dodds P, T. S. E. (2006), „Sharable Content Object Reference Model (SCORM)® 2004 3rd Edition, Overview Version 1.0“, Advanced Distributed Learning Co-Laboratory Hub, Alexandria, Virginia, USA, <http://www.adlnet.gov/index.aspx>
- Dudenredaktion (2008), „Duden-Newsletterarchiv“, Dudenverlag, Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, http://www.duden.de/deutsche_sprache/newsletter/archiv.php?id=149
- Esser F H, T. M., Wilbers K (2000), „E-Learning in der Berufsausbildung - Telekommunikationsunterstützte Aus- und Weiterbildung im Handwerk“, EUSL-Verlag, Markt Schwaben, S. 3
- Gotthardt M, S. M. J., Schlieck A, Schneider S, Kohnert A, Groß M W, Schäfer C, Wagner R, Hörmann S, Behr T M, Engenhart-Cabilic R, Klose K J, (2006), „How to Successfully Implement E-learning for both Students and Teachers“, Academic Radiology, 13 (3), S. 379-390, Publisher,

- Grützner I, H. C., Pfahl D, Vollmers C (2004), „Erfolgsfaktoren für effektives E-learning – Ergebnisse einer empirischen Studie“, Band Deutsche e-Learning Fachtagung Informatik (DeFI), S. 295 ff., Publisher,
- Hadeler T (2000), „Gabler Wirtschaftslexikon“, Gabler, Wiesbaden, S. 811-812
- Hecker H (1991), „Methodische Grundlagen klinischer Studien, Medizinische Hochschule Hannover, Institut für Biometrie“, S.11, <http://www.mh-hannover.de/fileadmin/institute/biometrie/Scripte/allgemein/vps4.pdf>
- Hecker H (1997), „Auswahl, Anwendung und Interpretation statistischer Tests - eine kurze Einführung, Medizinische Hochschule Hannover, Institut für Biometrie“, S.8, <http://www.mh-hannover.de/fileadmin/institute/biometrie/Scripte/allgemein/swtest7.pdf>
- Hedtke R (2000), „Aufbruch ins Paradies des Lernens? Multimedia und Internet zwischen Bildung und Kommerz“, Österreichische Zeitschrift für Berufsbildung, 18. Jg., H. 3, S.3-5, Publisher,
- Höcht C (2004), „Lernerfolg aus der Sicht online Studierender - eine qualitative Studie im Rahmen des internetbasierten Masterstudienganges VAWI“, Diplomarbeit im Studiengang Pädagogik in der Fakultät Pädagogik, Philosophie, Psychologie an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg, <http://www.paedagogisch-wertvoll.de/files/lernerfolg.pdf>
- Hoy L, V. B. (2007), „Statistische Methoden, Auswerten mit SPSS 14 und 15“, Medizinische Hochschule Hannover, Institut für Biometrie, <http://www.mh-hannover.de/fileadmin/institute/biometrie/Scripte/allgemein/SPSS-Skript.pdf>
- INNO-tec, C. G. (2002), „Akzeptanz von E-Learning (Studienüberblick)“, Eine empirische Studien Zusammenarbeit von Cognos und dem Institut für Innovationsforschung, Technologiemanagement und Entrepreneurship (INNO-tec), Cognos GmbH, INNO-tec, S. 1, http://support.cognos1.de/de_DE/schulung/studie_ueberblick.pdf

- Janssen J (2007), „Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows“, Springer Verlag, 6. Auflage, S. 571
- Jungclas H (2000), „Grundlagen der Strahlenphysik und der Radioaktivität zu den bildgebenden Verfahren der Radiologie“, Philipps Universität Marburg, Fachbereich Medizin, Zentrum für Radiologie, http://www.medizin-fachschaft.de/uploads/media/17.10.00_Grundlagen2.pdf
- Käser L, L. A., Lüthi T, (2004), „Internet- und Computer-Nutzung sowie E-Learning Erfahrungen der Medizinstudierenden der Universität Zürich“, Universität Zürich, Studiendekanat der Medizinischen Fakultät, S.2, http://www.vam.unizh.ch/umfrage/medstud_umfrage_ws0203.pdf
- Kerres M (1999), „Didaktische Konzeption multimedialer und telemedialer Lernumgebungen“, aus: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik, <http://www.informatikdidaktik.de/HyFISCH/Multimedia/Learning/DidaktischeKonzeptionKerres.pdf>
- Kerres M (2001a), „Multimediale und telemediale Lernumgebungen“, Oldenbourg, 2. Auflage, S.14
- Kerres M (2001b), „Online- und Präsenzelemente in Lernarrangements kombinieren. In: Andreas Hohenstein, Karl Wilbers (Hrsg.) Handbuch des E-Learning“, Köln, Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, S.3, 10
- Kerres M, d. W. C., Stratmann J, (2003), „E-Learning. Didaktische Konzepte für erfolgreiches Lernen“, Luchterhand Verlag
- Kerres M, G. E. (1998), „Status und Potentiale multimedialer und telemedialer Lernangebote in der betrieblichen Bildung. In: R. Weiß, H. Geißler, M. Kerres, E. Gorhan (Hg.): Kompetenzentwicklung für die Arbeitswelt der Zukunft - Forschungsstand und Forschungsperspektiven“, Institut der deutschen Wirtschaft, Köln, S.58

- Kleespies C, e. a. (2005), „Begriffe und Methoden der evidenzbasierten Medizin. Ein Glossar.“ DieM Institut für evidenzbasierte Medizin, Köln, S. 10, <http://www.di-em.de/publikationen.php>
- Klie T, F. U., Werner C, Weilert A, Klinzmann C, Zimmermann J, (2006), „Vorlesungsskripte im E-Learning-Zeitalter“, <http://www.ibr.cs.tu-bs.de/papers/mkwi2006.pdf>
- Klose K J. (2007), „Prinzipien der allgemeinen und speziellen Radiologie, Medizinisches Zentrum für Radiologie, Klinik für Strahlendiagnostik, Klinikum der Philipps-Universität Marburg“, <http://online-media.uni-marburg.de/radiologie/>
- Koegel Buford J F (1994), „Multimedia Systems“, ACM Press New York, NY, USA, S.2
- Koren G (2003), „Adobe After Effects, Workshop: Animierte Diagramme erstellen und in PDF einbetten“, XQX AG, S.1, http://www.xqx.de/Bibliothek/article0503_6.pdf
- Langenscheidt (2008), „Langenscheidt Fremdwörterbuch Online-Edition“, Langenscheidt KG, Berlin und München, <http://services.langenscheidt.de/fremdwb/fremdwb.html>
- Lee K, G. N., McCrary V, (2002), „Standardization aspects of eBook content formats“, Computer Standards & Interfaces 24, S. 227-239, Publisher,
- Lehner F (2001), „E-Learning - Aus- und Weiterbildung über das Internet“, Das Wirtschaftsstudium, WISU, 30. Jg., Heft 7, S. 986-990 Publisher,
- Leidhold W, K. M., Killing A, (2007), „E-Learning an der Universität zu Köln“, Universität zu Köln, <http://www.ilias.uni-koeln.de/>

- Leven F J, B. M., Haag M, (2006), „E-Learning in der Mediziner Ausbildung in Deutschland: Status und Perspektiven“, GMS Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie ISSN 1860-9171, <http://www.egms.de/en/journals/mibe/2006-2/mibe000047.shtml>
- Lewalter D (1997), „Kognitive Informationsverarbeitung beim Lernen mit computerpräsentierten statischen und dynamischen Illustrationen.“ Unterrichtswissenschaft, Zeitschrift für Lernforschung, Juventa Verlag GmbH, Weinheim, Vol 25, S. 207-222, Publisher,
- Lewalter D (1997), „Lernen mit Bildern und Animationen: Studie zum Einfluß von Lernermerkmalen auf die Effektivität von Illustrationen“, Waxmann Verlag GmbH, Münster,
- Lewalter D (2003), „Wer profitiert von Illustrationen? Untersuchungsbefunde zur Medienwirkung, in Science Center, Technikmuseen, Öffentlichkeit. Workshop, Public Understanding of Science II', 3. Symposium ‚Museumspädagogik in technischen Museen', Deutsches Museum, München“, Aus dem Institut für Museumskunde, Staatliche Museen zu Berlin, Preußischer Kulturbesitz, Nr. 26, S. 29-31,
- Littig P (2002), „Klug durch E-Learning?“ DEKRA-Akademie GmbH (Marktstudie, Bertelsmann Verlag), S. 43-62,
- Mair D (2005), „E-Learning - das Drehbuch, Handbuch für Medienautoren und Projektleiter“, Springer-Verlag, S.55
- Mayer R, M. R. (2002), „Animation as an Aid to Multimedia Learning“, Educational Psychology Review, 14, S.87-99, Publisher,
- Mayr P (2002), „Das Dateiformat PDF im Web - eine statistische Erhebung, Institut für Bibliothekswissenschaft der Humboldt-Universität zu Berlin“, S.10, http://www.ib.hu-berlin.de/~mayr/arbeit/nfd_PDF_im_Web.pdf

- McLuckie A (2003), „Die Einführung von E-Books an der ETH Zürich“, medizin - bibliothek - information · Vol 3 · Nr 3, Publisher, http://www.agmb.de/mbi/2003_3/mclucki.pdf
- Miller D (2006), „E-Learning - Eine multiperspektivische Standortbestimmung“, Haupt Verlag, 1. Auflage
- Müller M (2004), „Lerneffizienz mit E-Learning“, Rainer Hampp Verlag, München und Mering, S. 29, 92
- Negroponte N (1995), „Total digital : die Welt zwischen 0 und 1 oder Die Zukunft der Kommunikation“, Bertelsmann, München, S. 27
- Ostbye T, R. J. M. (1992), „Computer communication for international collaboration in education in public health. The TEMPUS Consortium for a New Public Health in Hungary“, Annals of the New York Academy of Sciences, 670, (1 43-49), Publisher, <http://www.annalsnyas.org/cgi/content/abstract/670/1/43>
- Paivio A (1986), „Mental representations. A dual coding approach“, Oxford University Press, New York
- Pulichino J (2006), „The eLearning Guild Research. Mobile Learning Research Report 2006“, The eLearning Guild Research, www.elearningguild.com
- Rosendahl J (2003), „Befragungsergebnisse „Multimediales Lernen in der medizinischen Ausbildung: Möglichkeiten, Nutzung, Grenzen““, Fakultät für Sozial- und Verhaltenswissenschaften der Friedrich-Schiller-Universität Jena, S.1 <http://www.personal.uni-jena.de/~s6roje/befragung/ErgebnisseBefragung.pdf>
- SAP (2002), „Handheld Einsatz. Direkt am „Point of Care“. Start in eine neue Ära mobiler Informationssysteme in Krankenhäusern“, SAP Deutschland AG & Co. KG, <http://www.sap.com/germany/media/50060027.pdf>

Schäfer C (2007), „eLearning-Infrastruktur am FB Medizin, Angebote und Chancen der online-Kommunikation für Dozenten und Studierende“, Publisher, www.k-med.org/lms

Schallehn V (2004), „Ausleihe von elektronischen Büchern, PDF-eBooks an der Universitätsbibliothek München“, BIBLIOTHEKSDIENST 38. Jg., H. 6, S. 726-732, Publisher, http://www.zlb.de/aktivitaeten/bd_neu/heftinhalte/heft9-1204/digitalebib0604.pdf

Schnotz, W. (2003), „Lernen mit Neuen Medien: Pädagogische Verheißungen und empirische Befunde“, Universität Koblenz-Landau, <http://www.informatikdidaktik.de/GML2003/Hauptvortraege/Schnotz2003.ppt>

Schnotz W (2001), „Wissenserwerb mit Multimedia“, Unterrichtswissenschaft, Zeitschrift für Lernforschung, Juventa Verlag GmbH, Weinheim, Vol. 29, S. 292-318., Publisher,

Schulmeister R (1997), „Grundlagen hypermedialer Lernsysteme: Theorie, Didaktik, Design“, Wien, Oldenbourg, Wissenschaftlicher Verlag, S.387 ff

Sesink W, Ed. (2003). „Grenzen des E-Learning, Manuskript zu einem Vortrag im Rahmen des IT-Lehrertags von HeLP/ProIT in Ffm am 13.10.2003“, S.16

Sesink W (2005), „Telemediale Lehrangebote in der LehrerInnenbildung. Pädagogische Grundsätze und Erfahrungen aus der universitären Praxis“, Sesink, TU Darmstadt, S.2, http://www.abpaed.tu-darmstadt.de/arbeitsbereiche/bt/material/Telemedia_Lehrerbildung.pdf

SwissMedEL. (2006), „Online Survey on IT-Equipment and IT-Use of Swiss Medical Students“, http://www.swissmedel.ch/html/survey_ch_en.html

Tergan S O, S. P. (2004), „Was macht E-Learning erfolgreich? Grundlagen und Instrumente der Qualitätsbeurteilung“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 98

Timmer A, K. R. (2008), „Cochrane-Glossar“, <http://www.cochrane.de/de/glossary.htm>

Wagner E, A. S. (2006), „Delivering on the Promise of eLearning“, Adobe Systems Incorporated, S.4, http://www.adobe.com/government/pdfs/promise_elearning_wp.pdf

Wagner R, Z. D., Schäfer C, Schneider S, (2006), „k-MED - vom lokalen Projekt zum e-Learning-Dienstleister“, GMS Med Inform Biom Epidemiol. 2(3):Doc13, S.6, Publisher, <http://www.egms.de/pdf/journals/mibe/2006-2/mibe000032.pdf>

WAHRIG. (2008), „Wörterbücher bei wissen.de“, <http://www.wissen.de>

Weidenmann B (1997), „„Multimedia“: Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle?“ Unterrichtswissenschaft, Zeitschrift für Lernforschung, Juventa Verlag GmbH, Weinheim, Vol 25, S. 197-206, Publisher,

Wick S. (1998), „„Abbilder in Multimedia-Anwendungen“, <http://www.iim.uni-giessen.de/osinet/paedagog/instrukt/medien/abbilder.htm>

10.1 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren in Marburg die Damen und Herren:

Arnold, Aumüller, Barth, Basler, Baum, Becker, Cetin, Czubayko, Daut, Eilers, Feuser, Geus, Christiansen, Gerdes, Gudermann, Hamer, Happle, Hertl, Hörle, Jungclas, Kann, Kessler, Klenk, Klose, König, Koolman, Krieg, Kroll, Köhler, Lang, Lill, Löffler, Lohoff, Meyer, Moll, Mueller, Mutters, Neubauer, Neesse, Oertel, Printz, Remschmidt, Renz, Röhm, Röper, Schäfer, Scheidt, Schmidt, Schrader, Seitz, Studer, Vogelmeier, Westermann, Werner.

10.2 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. Klaus Jochen Klose für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und seine freundliche Betreuung und Unterstützung in allen Phasen der Arbeit.

Frau Dr. Christine Schäfer für die stete und schnelle Hilfe, sowie die freundliche und freundschaftliche Aufnahme ins k-MED Team.

Dipl.-Psych. Cord Süße für die gute Beratung und Hilfestellung bei der Ausarbeitung des Studiendesigns, sowie der Umsetzung und Auswertung der Doktorarbeit.

Boris Keil und Dipl. Ing. Dorothea Theis für die Hilfe bei der Einarbeitung in die technischen Aspekte der Magnetresonanz-Tomographie und das Korrekturlesen der technischen Inhalte des Lernkurses zum Thema.

Prof. Dr. rer. physiol. Johannes Heverhagen für die freundliche Unterstützung bei der Überarbeitung des Lernkurses zur Magnetresonanz-Tomographie.

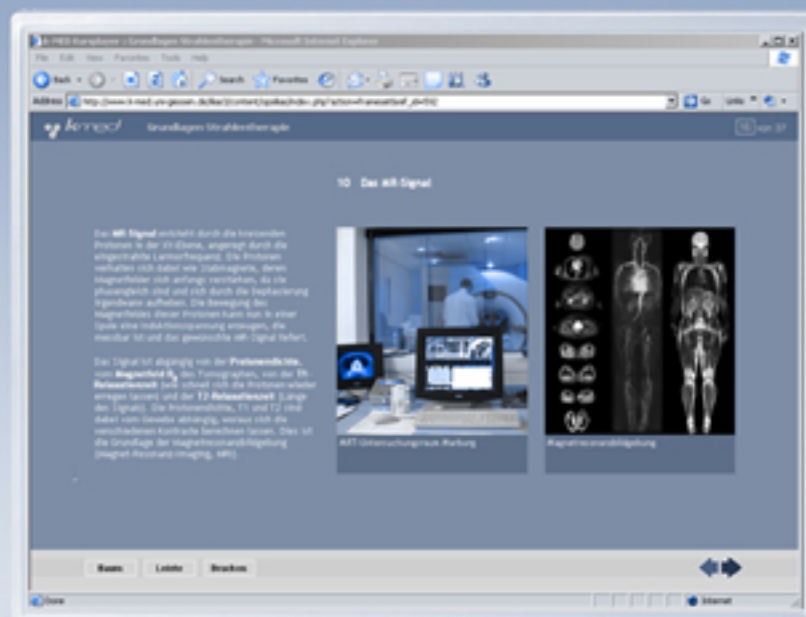
Meiner Frau, meinem Sohn, meinen Eltern und Großeltern für die beständige Unterstützung, während dieser Arbeit und während meines gesamten Studiums.



Magnetresonanztomographie

Lernskript für Mediziner
Grundlagen der Magnetresonanztomographie

Grundlagen



Autor: Christoph Sebastian Pabst
Betreuer: Prof. Dr. med. Klaus Jochen Klose
Prof. Dr. Johannes Heverhagen
Dr. Christine Schäfer
Boris Keil
Dorothea Theis

Stand: Mai 2006



Inhaltsverzeichnis.....	1
1. Einleitung.....	2
2. Überblick MRT.....	2
3. Entwicklung.....	3
4. MRT-Systemaufbau.....	3
4.1 Achsenbezeichnung beim MRT.....	4
5. Was ist der Kernspin?.....	4
6. Wasserstoffprotonen im Magnetfeld.....	5
7. Phasenverschiebung.....	5
8. Die Larmorfrequenz.....	6
9. T1- und T2-Relaxation.....	6
10. Das MR-Signal.....	7
10.1 Entstehung des Bildkontrastes.....	7
10.2 Z-Gradient.....	8
10.3 Ortskodierung.....	8
11. Signalmessung / K-Raum.....	9
11.1 Fouriertransformation.....	10
12. Untersuchungsmethoden.....	10
12.1 MR-Myelographie.....	10
12.2 MR- Sialographie.....	11
12.3 MR-Cholangiographie.....	11
12.4 MR-Urographie (MRU).....	11
12.5 MR-Angiographie.....	12
12.6 MR-Cardiographie.....	12
12.7 MR-Mammographie.....	12
12.8 Darstellung von flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen/Höhlen.....	13
12.9 MR-Perfusion.....	13
12.10 MR-Diffusion.....	13
12.11 Neurofunktionelle Bildgebung.....	14
12.12 MR-Spektroskopie.....	14
12.13 Kontrastmittelgabe beim MRT.....	14
13. Risiken und Nebenwirkungen.....	15
14. Zusammenfassung.....	15
15. Übungsaufgaben.....	16
15.1 Frage 1.....	16
15.2 Frage 2.....	16
15.3 Frage 3.....	16
15.4 Frage 4.....	17
16. Lösungen.....	17
17. Quellenangaben.....	18



1. Einleitung



Liebe Leserinnen und Leser, auf den folgenden Seiten wird Ihnen das Grundwissen zum Thema Magnetresonanztomographie präsentiert. Zunächst wird die Entwicklung und der Systemaufbau der MRT dargestellt, es folgen die physikalischen Grundlagen, Kontrastmittel, Einsatzbereiche und die Risiken. Dieses PDF soll Ihnen als Vorbereitung auf bevorstehende Klausuren dienen und bietet Ihnen im Anschluss in Form von Übungsaufgaben eine Kontrolle Ihres neu erworbenen Wissens. Die Bearbeitung sollte in etwa 40-50 min dauern. Viel Erfolg!

2. Überblick MRT

Die **Magnetresonanztomographie** (Tomographie von griechisch "Schnitt") ist ein bildgebendes Verfahren zur Darstellung von Strukturen im Inneren des Körpers. Sie kann **Schnittbilder** des menschlichen Körpers erzeugen, aus denen per Computer 3D-Datensätze berechnet werden können. Die MRT hat im Vergleich zur Computer-Tomographie (CT) eine bessere Weichteildarstellung.

Die MRT nutzt die Kombination von Magnetfeld und HF-Impuls zur Anregung von **Wasserstoffprotonen** und keine ionisierenden Strahlen wie beim Röntgen oder CT. Die Bilder spiegeln daher auch nicht wie beim Röntgen die Gewebedichte wieder, sondern die Protonendichte im Gewebe!

Synonyme Begriffe für die MRT sind Kernspintomographie und MRI (Magnetic Resonance Imaging).

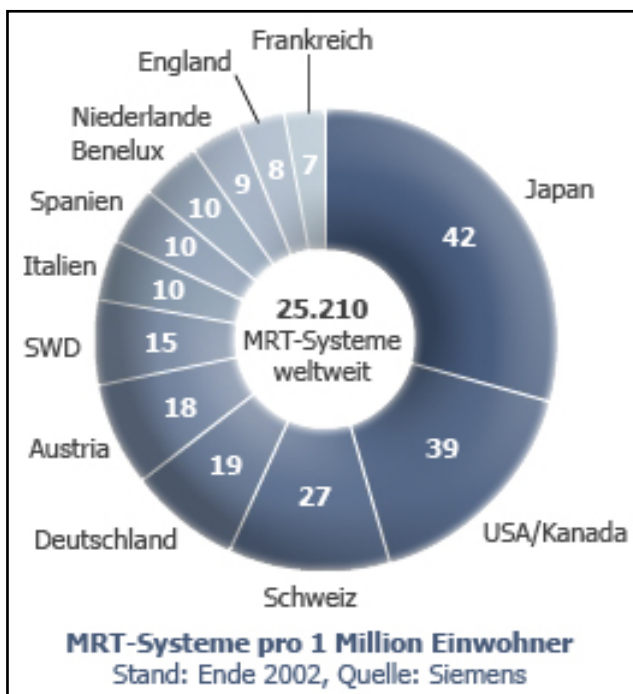


Abb.1 Dichte der installierten MRT-Systeme weltweit



Abb.2 MRT-System, Beispiel Siemens Magnetom. Andere Hersteller von MRTs sind u.a Bruker, Hitachi, Philips und Toshiba.



3. Entwicklung der Magnetresonanz-Tomographie



- um 1800 Mathematische Grundlagen zum MRT von Jean-Baptiste Fourier
- um 1900 Grundlagen der Physik zum MRT von Nikola Tesla
- 1946 Entdeckung des technischen Prinzips von Bloch und Purcell
- 1952 Nobelpreis für Felix Bloch und Edward Mills Purcell
- 1973 Weiterentwicklung zum bildgebenden Verfahren von Prof. Paul C. Lauterbur und Prof. Sir Peter Mansfield
- 1974 Erste Abbildung eines Tumors beim Tier von Raymond Damadian
- 1984 praktische Verfügbarkeit des MRTs
- ab 1988 Einzug in die Herzbildgebung, MR-Angiographie
- 2003 Nobelpreis für Prof. Paul C. Lauterbur und Prof. Sir Peter Mansfield

4. MRT-Systemaufbau

Für den Einsatz der MRT benötigt man folgende Systemkomponenten:

- Supraleitender Magnet (für das Hauptmagnetfeld B_0)
- Hochfrequenzsender (Larmorfrequenzsender)
- Gradientenspulen (Magnetfelder: Z-Gradient, Ortskodierung)
- Empfangsspulen
- Untersuchungstisch
- Computerkonsole (Steuerung, Berechnung, Ausgabe)
- Abgeschirmter MRT-Untersuchungsraum (Faradayscher Käfig)

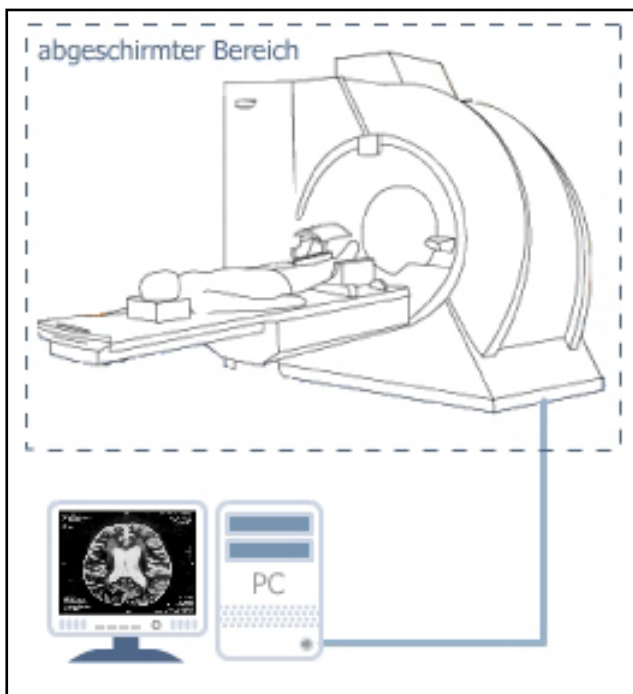


Abb. 3 Systemaufbau beim MRT

Bei dem supraleitenden Magneten wird die Magnetspule (Metalllegierung) durch flüssigen Stickstoff und flüssiges Helium auf 4K (minus 269°C) abgekühlt, wodurch der Widerstand der Spule praktisch auf Null gesetzt wird. Dies ist notwendig, um die extrem starken Magnetfelder aufrechtzuerhalten.

Abb. 3 zeigt den MRT Systemaufbau mit dem Faradayschem Käfig für die Abschirmung der empfindlichen Messspulen vor Radio- und Handystrahlung. Ein solcher Käfig besteht im Prinzip aus einem Metallkäfig, wodurch z.B. bei einem Blitzeinschlag die Ladungen sich abstoßen und sich auf die Außenseite des Metalls verlagern. Das Gleiche passiert mit elektromagnetischen Feldern, wodurch der Innenraum frei von diesen Einflüssen wird.



4.1 Achsenbezeichnung beim MRT

Hier soll nur kurz auf die Achsenbezeichnungen der MRT eingegangen werden, da bei vielen Grafiken zur MRT die Z-Achse so gekippt wurde, dass sie auf der dort sonst liegenden Y-Achse liegt. Dies soll keine Verwirrung stiften, es dient einer besseren Darstellungsweise. Wie im Bild zu sehen ist, sind die Achsen in der Realität aber so, wie man es gelernt hat, Y ist senkrecht, X waagrecht und Z geht in die Tiefe.

Die Drehung der Protonen in der XY-Ebene vollzieht sich wie beim Rotor eines Ventilators in der Röhre, das Magnetfeld folgt der Z-Achse von der einen Öffnung zur anderen.

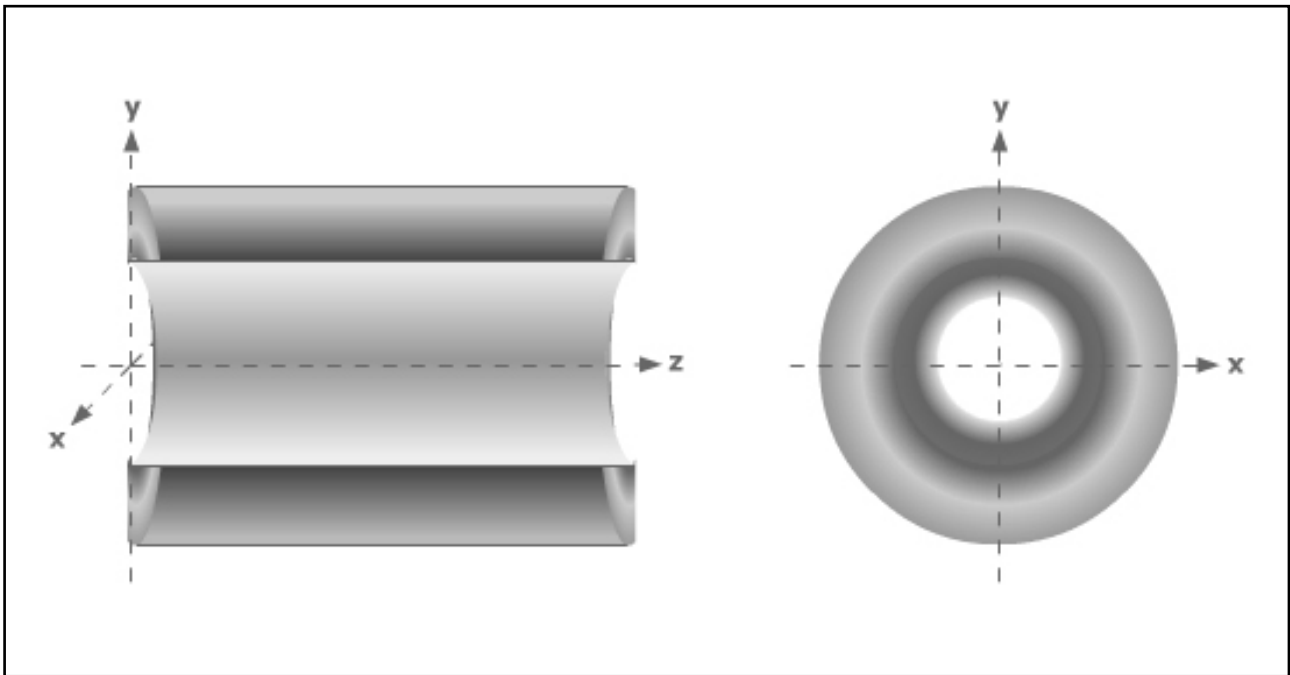


Abb. 4 Achsenbezeichnung beim MRT

5. Was ist der Kernspin?

Als **Kernspin** bezeichnet man den **Eigendrehimpuls** eines Protons (aber nicht des ganzen Atoms) um seinen eigenen Schwerpunkt. Die Elektronen des Atoms werden dabei außer Acht gelassen. Da nun z.B. ein Wasserstoff-Proton eine positive Ladung besitzt und bewegte Ladungen ein magnetisches Moment haben, entsteht auch hier ein messbares, magnetisches Feld.

Die Eigendrehung ist eine Grundeigenschaft der Elementarteilchen, jedes Element hat dabei eine typische Frequenz, die nicht abgebremst oder beschleunigt werden kann und einfach immer da ist.

6. Wasserstoffprotonen im Magnetfeld

Befinden sich Wasserstoff-Protonen in einem starken Magnetfeld, so richten sich die Kernspin-Achsen an den Feldlinien aus (**Längsmagnetisierung**). Dabei **präzedieren** sie wie ein Kreisel immer dichter an diese Linien heran, werden aber niemals ganz ausgerichtet. Dies geschieht parallel und antiparallel zum Feld im Verhältnis 1.000.007:1.000.000 (bei 1 Tesla). Bei der hohen Anzahl der Protonen im Körper reicht dieser Überschuss jedoch aus. Zur besseren Anschauung wird im weiteren Verlauf nur noch der Protonenüberschuss berücksichtigt.

Klinische MRT-Anlagen arbeiten mit bis zu 3 Tesla, Forschungsgeräte bis max. 17,6T. Zum Vergleich: das Erdmagnetfeld hat ca. 10 μT .

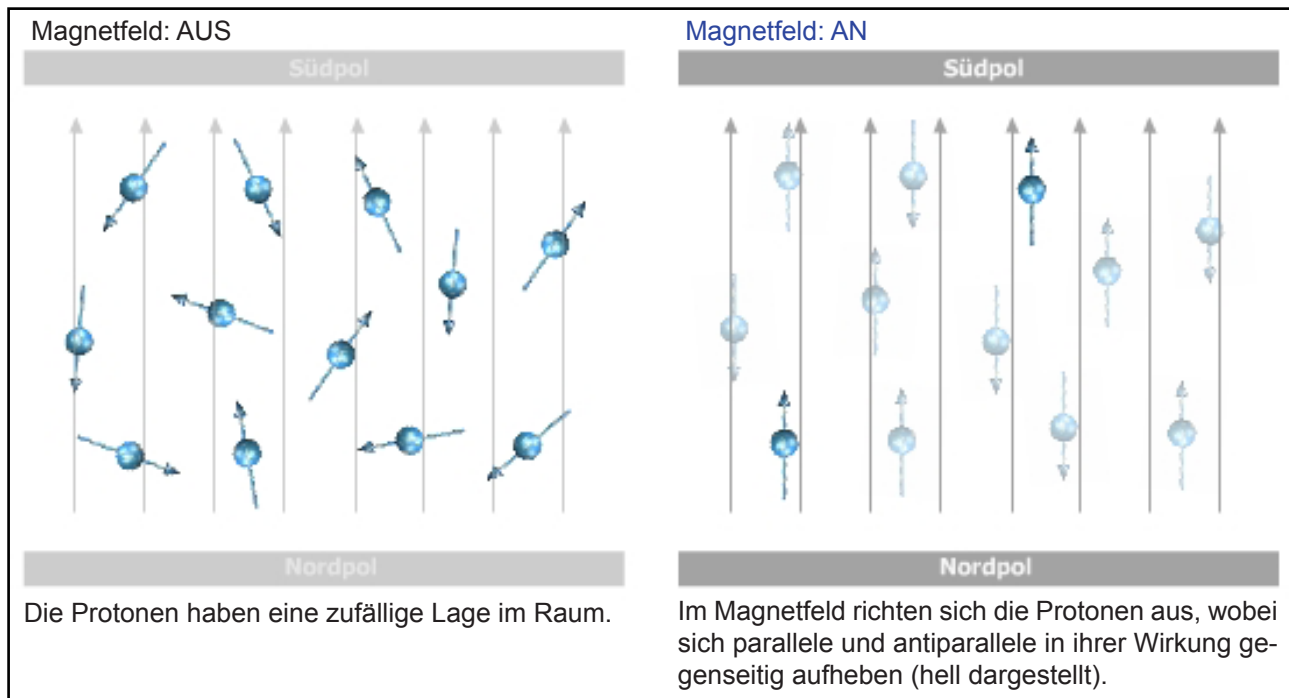


Abb. 5 Wasserstoffprotonen im Magnetfeld

7. Phasenverschiebung

Die in der Abbildung gezeigten Vektoren sind bei 0° Phasenverschiebung **kohärent**, d.h. phasengleich. Hierbei haben wir den Effekt der Verstärkung des Gesamtmagnetfeldes, da beide Magnetfelder die gleiche Ausrichtung haben.

Bei einer **Phasenverschiebung** (Dephasierung) von 90° wirken die Pole der beiden Vektoren gegeneinander. Der Gesamtvektor wird kleiner. Bei einer Phasenverschiebung von 180° wirken die Vektoren genau entgegengesetzt, sie heben sich auf. Der resultierende Vektor ist in diesem Falle gleich 0.

Das Verständnis ist wichtig für die folgenden Inhalte.

8. Die Larmorfrequenz

Um nun für die MRT das benötigte Signal zu erhalten, muss ein kurzer Impuls einer charakteristischen Radiofrequenz (über eine Antenne) in das Magnetfeld eingestrahlt werden, die **Larmorfrequenz**. Bei diesem Hochfrequenzimpuls werden die Protonen synchronisiert, wobei einige um 180° gekippt werden. Der resultierende Vektor kippt dabei um 90° und dreht sich in der XY-Ebene. Anfangs kreisen die Protonen noch phasengleich, laufen aber durch verschiedene Energieabgaben an das umliegende Gewebe schnell auseinander (Dephasierung) und richten sich wieder dem Magnetfeld aus. Die Formel zur Berechnung der Larmorfrequenz lautet:

$$\omega_0 = \gamma \cdot B_0$$

ω_0 : Larmorfrequenz in [MHz]; γ : gyromagnetische Konstante, charakteristisch für jedes Element, für Protonen = 42,58 MHz/T; B_0 : Stärke des Magnetfeldes in Tesla [T]

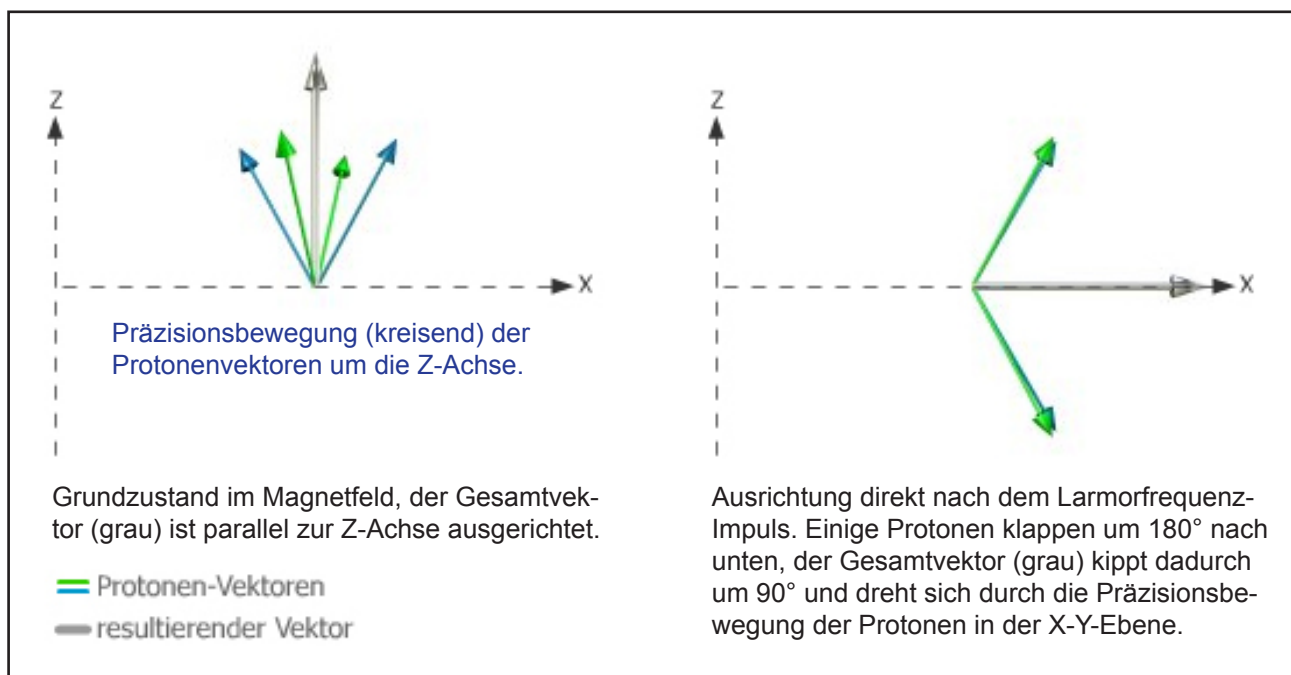


Abb. 6 Auswirkung des HF-Impulses mit der spezifischen Larmorfrequenz

9. T1- und T2-Relaxation

Die **T1-Relaxation** ist die longitudinale Relaxation und beschreibt das Zurückkippen des Vektors nach dem HF-Impuls zum Magnetfeld (niedrigerer Energiezustand). Um so mehr dieser Vektor relaxiert ist, umso stärker kann er erneut angeregt werden. Bei der T1-Relaxation wird Energie an die Umgebung abgegeben. Die Zeitkonstante T1 ist u.a. von der Stärke des Magnetfeldes B_0 abhängig und gibt die Zeit an, in der ca. 63 % der ursprünglichen Longitudinalmagnetisierung wieder erreicht ist.

Die **T2-Relaxation** ist die transversale Relaxation und beschreibt den Verlust der Phasengleichheit, wo die Protonen anfangs noch phasengleich kreisen und durch die Inhomogenitäten des Magnetfeldes im Gewebe langsam dephasieren. Die Zeitkonstante T2 gibt an, wann die Transversalmagnetisierung auf 37 % des ursprünglichen Wertes zurückgegangen



ist. Sie ist ein Maß für die Dauer des Signals. Die T1- und T2-Relaxation sind unabhängig von einander und laufen im Prinzip gleichzeitig ab.

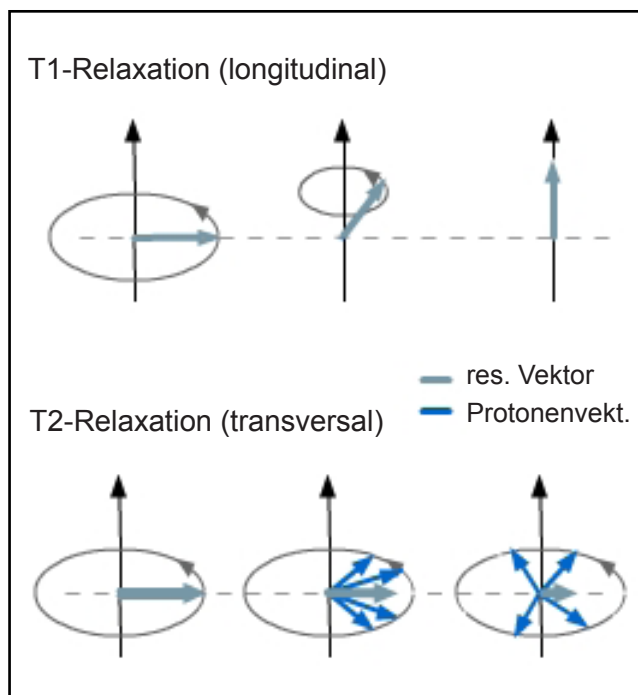


Abb. 7 T1- und T2-Relaxation

(bei $B_0=1,5T$)	T1 (ms)	T2 (ms)
Skelettmuskel	870	47
Leber	490	43
Niere	650	58
Milz	780	67
Fett	260	84
Liquor	>4000	>2000
Lunge	830	79

T1 und T2 sind entscheidend für den Bildkontrast. Bei einer T1-Gewichtung gibt es andere Bilder als bei einer T2-Gewichtung.

Abb. 8 T1/T2 in verschiedenen Medien

10. Das MR-Signal

Das **MR-Signal** entsteht durch die kreisenden Vektoren in der XY-Ebene, angeregt durch die eingestrahlte Larmorfrequenz. Die Vektoren verhalten sich dabei wie Stabmagnete, deren Magnetfelder sich anfangs verstärken, da sie phasengleich sind und sich durch die Dephasierung irgendwann aufheben. Die Bewegung des Magnetfeldes dieser Vektoren kann nun in einer Spule eine Induktionsspannung erzeugen, die messbar ist und das gewünschte MR-Signal liefert.

Das Signal ist abhängig von der **Protonendichte**, vom **Magnetfeld B_0** des Tomographen, von der **T1-Relaxationszeit** (wie schnell das Gewebe wieder erregt werden kann) und der **T2-Relaxationszeit** (Länge des Signals). Die Protonendichte, T1 und T2 sind dabei vom Gewebe abhängig, woraus sich die verschiedenen Kontraste berechnen lassen. Dies ist die Grundlage der Magnetresonanzbildgebung.

10.1 Entstehung des Bildkontrastes

Um ein MR-Bild zu erhalten, muss die Schicht mehrmals angeregt und gemessen werden. Der Bildkontrast wird dabei durch die T1-Gewichtung (**Repetitionszeit/TR**) und die T2-Gewichtung (**Echozeit/TE**) bestimmt.

Die Repetitionszeit ist die Zeit zwischen den Anregungen, in der sich die Protonen wieder dem Magnetfeld ausrichten können. Je länger diese Zeit ist, umso größer ist die **Längsmagnetisierung** der Protonen und umso stärker wird das Signal bei erneuter Anregung.





Unter 600ms (bei 1,5 T) geben Gewebe mit kurzem T1 ein hohes Signal ab. Auf T1-gewichteten Bildern stellen sich Flüssigkeiten **dunkel** dar (Liquor, Blut).

Die Echozeit ist die Zeit zwischen der Anregung und der Messung des Signals. Bei einer Verzögerung ab 60 ms ist in Geweben mit kurzem T2 kein Signal mehr messbar. Auf T2-gewichteten Bildern werden Flüssigkeiten **hell** dargestellt.

10.2 Z-Gradient

Für die Bildgewinnung der einzelnen Schichten ist beim MRT entscheidend, dass dem Magnetfeld B_0 ein **Z-Gradienten** aufgelagert wird, wodurch jede Schicht in einem Magnetfeld einer bestimmten Stärke liegt. Der Gradient wird durch Z-Gradienten-Spulen erzeugt, wodurch das Gesamtfeld **inhomogen** gemacht wird und zum Fußende hin abfällt.

Da die **Larmorfrequenz** vom gesamten Magnetfeld ($B_0 + \text{Z-Gradient}$) abhängig ist, hat so auch jede Schicht eine spezifische Frequenz, mit der die Protonen erregt werden können. Der Z-Gradient ist also entscheidend für die Schichtdicke der Aufnahme. Je stärker das Magnetfeld, umso größer muss die Larmorfrequenz gewählt werden. Umliegende Bereiche der gewählten Schicht haben eine andere **Resonanzfrequenz** und werden daher nicht beeinflusst.

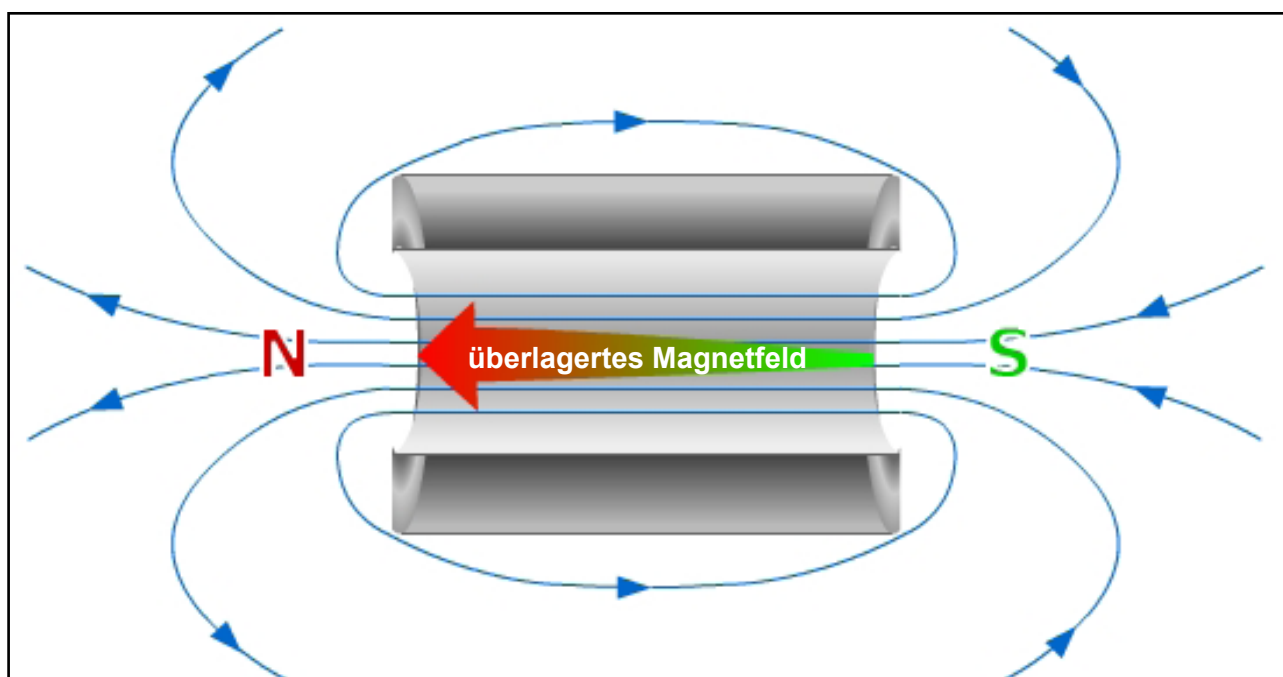


Abb. 9 Feldlinien des MRTs mit Überlagerung durch den Z-Gradienten.

10.3 Ortskodierung

Die Schichtdicke und Position wird durch den **Z-Gradienten** und den spezifischen HF-Impuls der Schicht festgelegt, für die Ortskodierung benötigt man nun einen X- (Frequenzkodierung) und **Y-Gradienten** (Phasenkodierung). Der Y-Gradient (Y-Gradienten-Spule) wird nach der Einstrahlung der Larmorfrequenz kurz an- und wieder ausgeschaltet. Dadurch sind alle Vektoren bereits angeregt und werden durch den Gradienten in ihrer Phase verschoben





(senkrecht). Der **X-Gradient** (X-Gradienten-Spule) wird während der Messung zusammen mit dem Z-Gradienten zugeschaltet und bewirkt, dass die Larmorfrequenz mit dem Gradienten zunimmt. Es resultiert ein Frequenz-Gradient von links nach rechts (horizontal).

Daraus ergibt sich eine Matrix mit spezifischer Frequenz- und Phasenverschiebung jedes einzelnen Punktes, woraus sich nun ein 2D-Bild berechnen lässt.

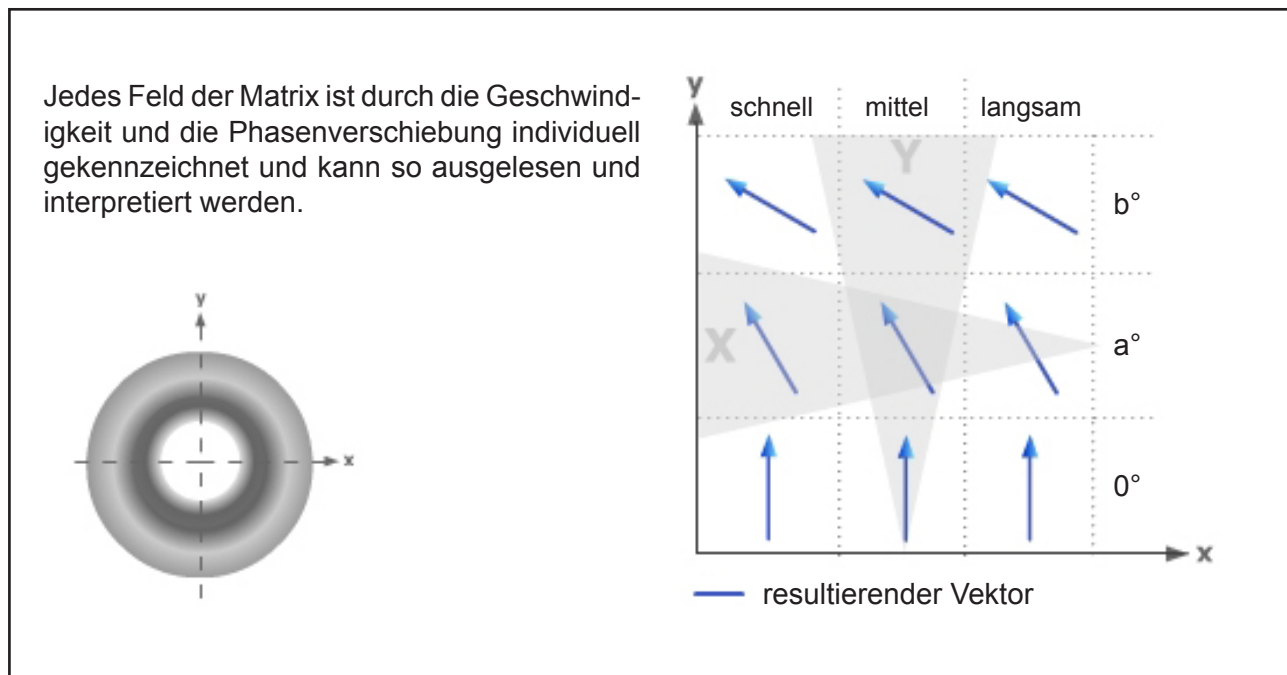


Abb. 10 Ortskodierung über den X- und Y-Gradienten

11. Signalmessung / K-Raum

Für eine Aufnahme jedes einzelnen von **262.144 Bildpunkten** (max. 512x512, variabel) bräuchte man bei einer Aufnahmezeit von 100 ms über 7 Stunden. Da dies zu aufwendig wäre, werden nicht mit vielen Messspulen die einzelnen Punkte gemessen, sondern mit nur einer Messspule die gesamte angeregte Schicht. Die Schicht wird dabei in bestimmten Sequenzen Zeile für Zeile abgemessen, wobei jede Zeile ihren eigenen Phasencode besitzt. Diese Methode benötigt eine Messzeit von 512 Zeilen x 100ms, also nur 51,2s. Je stärker die Gradienten geschaltet werden, desto höher wird dabei die **Aufnahmegeschwindigkeit**. Die gewonnene Rohdatenmatrix wird als **K-Raum** bezeichnet.

Jede **Sequenz** startet mit einem HF-Impuls, der Y-Gradient wird an- und ausgeschaltet und erst im Anschluss wird der X- und Z-Gradienten für die Messung des Signals eingebracht.

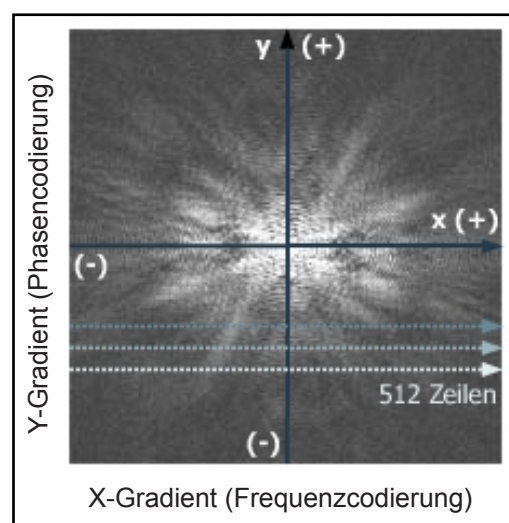


Abb. 11 Der K-Raum



Aus den codierten Ortsdaten erhält man also eine Rohdatenmatrix von 512x512 Voxel (Volumenelemente), den **K-Raum**. Die Daten in der Mitte des K-Raumes beinhalten Informationen über den Kontrast, die der äußeren Bereiche Informationen über die Details (Kanten und scharfe Strukturen des Bildes).

Mittels der **Fouriertransformationen** und speziellen Visualisierungsalgorithmen werden diese Daten in ein zweidimensionales Bild mit 512x512 Pixel (262.144 Bildpunkte) umgewandelt, das uns in gewohnter Form die Objektdaten liefert.

Die Kontrastauflösung der Magnetresonanz-Tomographie ist im übrigen 10 mal größer als bei der Computer-Tomographie! Die Voxelauflösung, bzw. Pixelauflösung ist aber bei beiden Verfahren gleich (512x512).

12. Untersuchungsmethoden

Die MRT liefert Bilder mit höherer Kontrastauflösung und detaillierteren anatomischen Darstellungen als die Computertomographie. Zudem liefert die MRT eine gute Weichteildarstellung und auch die Aufnahme bewegter Organe ist möglich. Dank der Kontrastmittel und neuen technischen Möglichkeiten wurden zahlreiche Messverfahren entwickelt (Erläuterungen auf den folgenden Seiten):

- MR-Myelographie
- MR-Sialographie
- MR-Cholangiographie
- MR-Urographie
- MR-Angiographie
- MR-Cardiographie
- MR-Mammographie
- Darstellung von flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen/Höhlen
- MR-Perfusion
- MR-Diffusion
- Neurofunktionelle Bildgebung
- MR-Spektroskopie

12.1 MR-Myelographie

MR-Myelographie: Selektive Darstellung der Rückenmarksflüssigkeit, die das Rückenmark und die Nervenwurzeln umgibt. Diese Technik kommt ohne Punktion oder Kontrastmittel aus. Zur Abbildung des Verlaufs der Nervenwurzeln, für die Diagnostik von Engstellen des Rückenmarkkanals oder der Zwischenwirbellöcher, sowie Zystenbildungen der Flüssigkeitsräume.



Abb. 12 MR-Myelographie (coronar, T2)



12.2 MR- Sialographie

Diagnostik der Ausführungsgänge der Speicheldrüsen durch spezielle Techniken. Aufgrund der multiplanaren Rekonstruktion der 3D-CISS-Sialographie (CISS = Constructive Interference in Steady State) entstehen keine Überlagerungen wie bei der konventionellen Sialographie mit ihren Summationsbildern. Die Untersuchung erfolgt bei Entzündungen, Tumoren oder bei Steinleiden der Speicheldrüse.

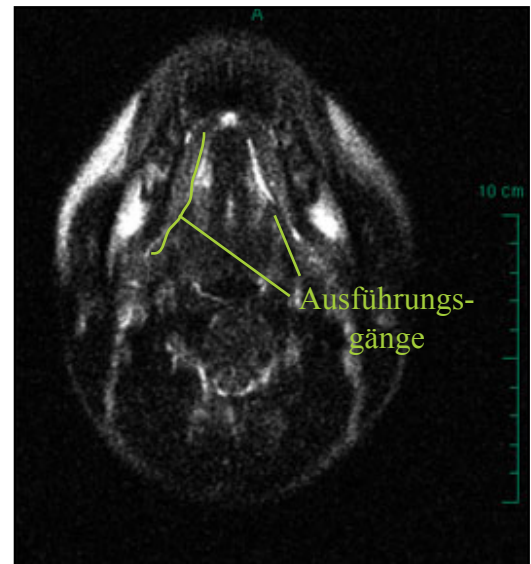


Abb. 13 MR-Sialographie, Ausführungsgänge der Gl. Submandibularis (transversal, T2-gewichtet)

12.3 MR-CP

MR-Cholangiopankreatikographie. Nicht invasive Technik zur Darstellung des Gallenwegs- und Pankreasgangsystems. T2-gewichtete Sequenzen erzeugen einen hohen Kontrast zwischen stehenden Flüssigkeiten (z.B. Galle) und dem umgebenden Gewebe. Es werden Techniken wie Atemstillstand, Atemtriggerung und Applikation von Kontrastmitteln verwendet.

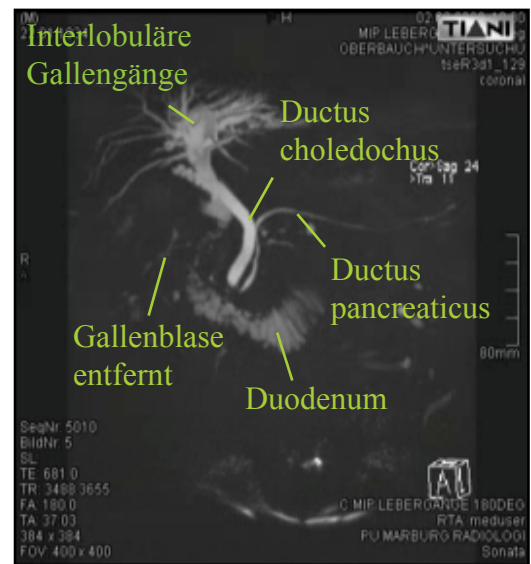


Abb. 14 MR-CP (coronar, T2)

12.4 MR-Urographie (MRU)

Darstellung des Nierenbeckens, der Harnleiter und Harnblase ohne Kontrastmittelgabe. Zur Abklärung von entzündlichen oder tumorösen Veränderungen, Darstellung des Nierenhohlraumsystems, der ableitenden Harnwege und Abflussstörungen. Bei Abb. 15 handelt es sich um eine MR-U-M-CP, eine **MR-Uro-Myelo-Cholangiopankreatikographie**.

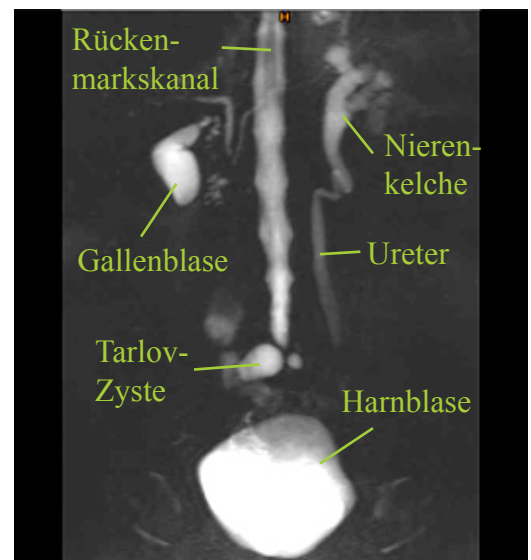


Abb. 15 MR-U-M-CP (coronar, T2)

12.5 MR-Angiographie

TOF-MRA (Time of Flight MR-Angiographie): statisches Gewebe wird über kurze Repetitionszeiten (< 50 ms) angeregt und stark gesättigt. Hineinfließendes, ungesättigtes Blut liefert dabei ein stärkeres Signal als das Gewebe.

PC-MRA (Phase contrast MR-Angiography): Geschwindigkeitsmessung des Blutflusses. Das Prinzip beruht auf dem linearen Zusammenhang der Phasenverschiebung und der Geschwindigkeit der Protonenspins. Die Phasenverschiebung wird nun durch einen Gradientenimpuls entlang der Flussrichtung erreicht. Auch die Liquorfluss-Messung ist mit dieser Methode möglich.

CE-MRA (Contrast-enhanced MR-Angiography): MR-Kontrastmittel wie z.B. Gd-DTPA (Gadolinium) können die T1-Zeit von Blut dramatisch verkürzen und ermöglicht dadurch eine schnelle Bildgebung mit ausreichendem Kontrast.

12.6 MR-Kardiographie

Morphologische und funktionelle Untersuchungen des Herzens mit hoher Aufnahmegeschwindigkeit, zur genauen Beurteilung der Herz- und Klappenfunktion. Bei dem dafür verwendeten Echo Planar Imaging (EPI) werden alle Zeilen eines Bildes nach einem HF-Puls über eine Phasenkodiergradienten ausgelesen (bis zu 30 Bildern pro Sekunde). Nachteil: mehr Signalauslöschungen und Verzerrungen.

12.7 MR-Mammographie

Untersuchung beider Mammæ mit T1-gewichteten 3D-Sequenzen vor und nach Applikation von Gd-DTPA. Zudem werden T1- und T2-gewichtete Sequenzen zur Abbildung von möglichem Tumoren angewandt, wobei die Sequenzen subtrahiert und mit 3D-MIP (Maximum Intensitätsprojektionen) berechnet werden. Mit dieser Technik können bereits 3mm-große Karzinome nachgewiesen werden.

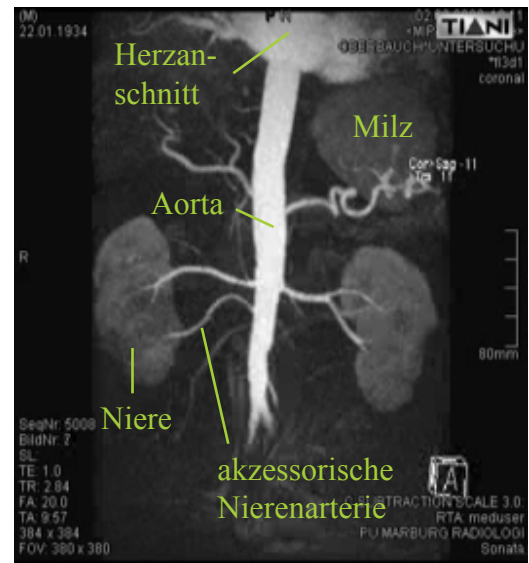


Abb. 16 MR-Angiographie (coronar, T1)

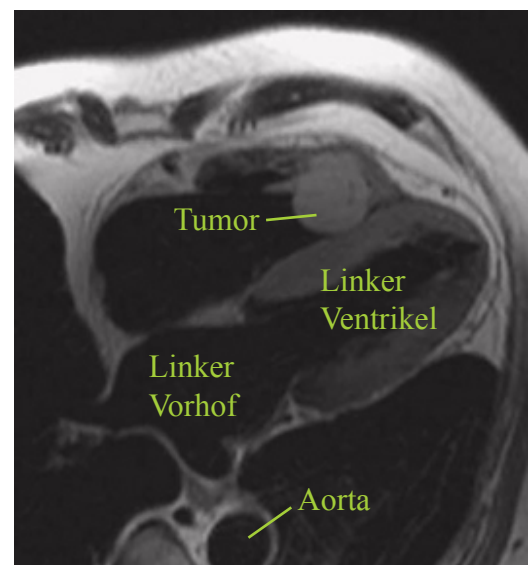


Abb. 17 MR-Kardiographie, Herztumor in der rechten Herzkammer (transversal, T1)

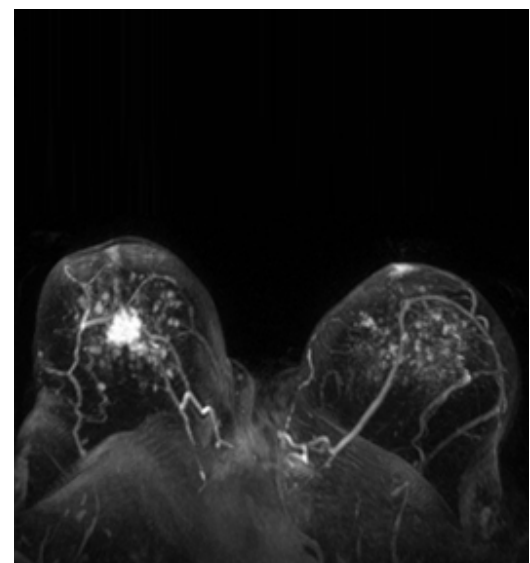


Abb. 18 MR-Mammographie, Tumor (hell) (transversal, T1)

12.8 Darstellung von flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen/Höhlen

Mit der Magnetresonanztomographie können flüssigkeitsgefüllte Hohlräume wie Herz, Blutgefäße, Harnblase, Gallen- und Bauchspeicheldrüsengang, aber auch z.B. Zysten, Tumorzerfallshöhlen oder Flüssigkeitsansammlungen in der Peritonealhöhle ohne Kontrastmittel hervorragend abgebildet und begutachtet werden.

Die MR-Peritoneographie ermöglicht z.B. eine exakte Darstellung und Überwachung der peritonealen Oberfläche sowie des Mesenteriums gegenüber dem Dialysat bei der Peritonealdialyse (Bauchfelddialyse, Variante der künstlichen Blutwäsche). Es handelt sich hierbei allerdings nicht um eine primär angewendete Methode, sondern um eine weitere diagnostische Möglichkeit, die sich den starken Kontrastunterschied zwischen Flüssigkeiten und festem Gewebe bei der MRT zu Nutze macht. Eine zusätzliche Applikation von Kontrastmitteln ist daher nicht notwendig.

12.9 MR-Perfusion

Durch Messungen mit paramagnetischen Kontrastmitteln kommt es zu Wechselwirkungen mit dem Gewebe, wodurch T1 und T2 verkürzt werden (Relaxationseffekte). Dies führt zu einer Signalveränderung während und nach Kontrastmittelgabe. Die Messung lässt so Rückschlüsse auf die regionale Mikrozirkulation zu. In der Abb. 20 ist die Perfusion in der Frühphase nach KM-Gabe dargestellt, in Abb. 21 lassen sich bereits kleine, helle Anreicherungen in der Mamma erkennen.

12.10 MR-Diffusion

Darstellung der molekularen Protonenbewegung (Brown'sche Molekularbewegung), die hier durch physikalische Begrenzungen (z.B. Zellmembran) eingeschränkt wird. Es werden zwei Gradientenspulen genutzt, dessen Wirkungen sich aufheben würden, wenn die untersuchten Protonen unbeweglich wären. Im Infarktgebiet ist z.B. die Diffusion stark eingeschränkt, auch lassen sich Tumore dadurch sehr gut darstellen (Diffusion-weighted-Tumor-imaging), sowie Flüssigkeitsverschiebungen

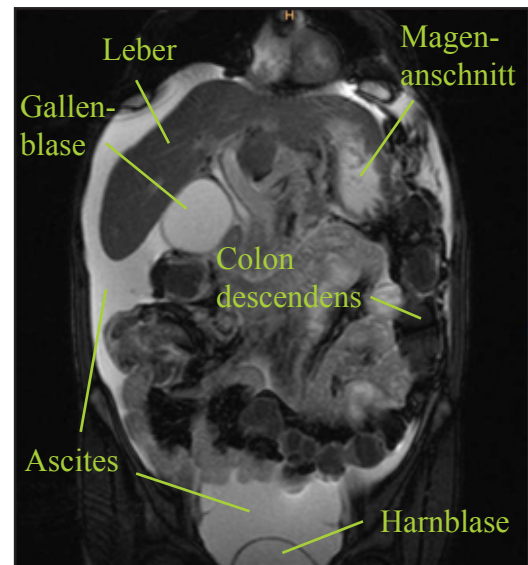


Abb. 19 MR-Peritoneographie mit Ascites (coronar, T2)

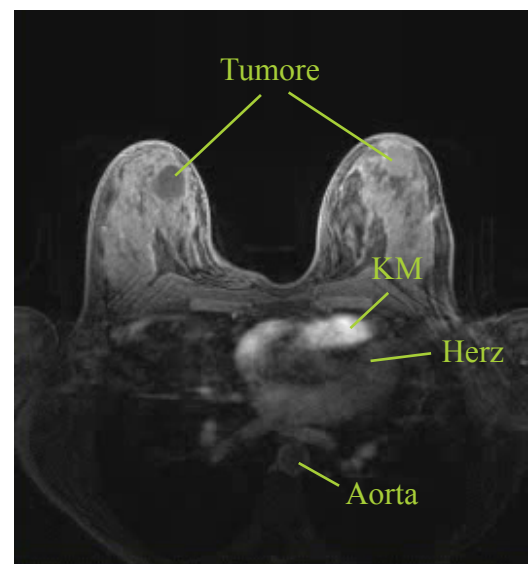


Abb. 20 MR-Perfusion, Frühphase (transversal, T1)

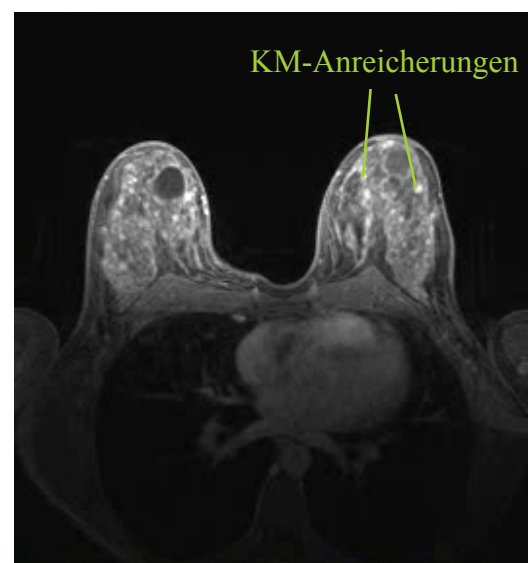


Abb. 21 MR-Perfusion, Spätphase (transversal, T1)

12.11 Neurofunktionelle Bildgebung

Da die Magnetisierbarkeit (Suszeptibilität) des Blutes von dem Oxygenierungszustand des Hämoglobins abhängt, können Änderungen der Sauerstoffsättigung dargestellt werden. Während oxygeniertes Hämoglobin (leicht) diamagnetisch ist, ist desoxygeniertes Hämoglobin paramagnetisch und verstärkt damit ein lokales Magnetfeld. Diesen Effekt nennt man den **BOLD-Effekt** (Blood Oxygenation Level Dependent), der sich z.B. auch zur Untersuchung der Gehirnaktivität nutzen lässt.

12.12 MR-Spektroskopie

Mittels der MRS können aufgrund der chemischen Verschiebung der Resonanzsignale von Protonen in Abhängigkeit von der jeweiligen chemischen Umgebung Metabolite in vivo detektiert und quantifiziert werden (u.a. Kreatin, Laktat, Lipide, Aminosäuren). Diese Daten liefert z.B. bei angeborenen Enzymdefekten und der Differenzierung von Demenzformen wichtige Informationen.

12.13 Kontrastmittelgabe beim MRT

MR-Kontrastmittel sind Pharmazeutika, die der Erhöhung der diagnostischen Informationen dienen. Sie wirken direkt durch Veränderung der Protonendichte oder indirekt durch Veränderung der T1- und/oder T2-Zeit. Im Unterschied zu den Kontrastmitteln beim Röntgen sieht man nicht die Mittel selber, sondern ihre Auswirkung auf das umliegende Gewebe.

Die indirekt wirkenden Kontrastmittel beschleunigen die Relaxation und bzw. oder die Dephasierung durch Aufnahme der Energie. Extrazelluläre Kontrastmittel sind wasserlösliche Verbindungen, wobei die meisten zur Gruppe der **Gadolinium(III)-Komplexe** gehören. Intravaskuläre Kontrastmittel sind Verbindungen, die bedingt durch ihre Molekülgröße nicht oder nur langsam durch die Kapillarwände diffundieren

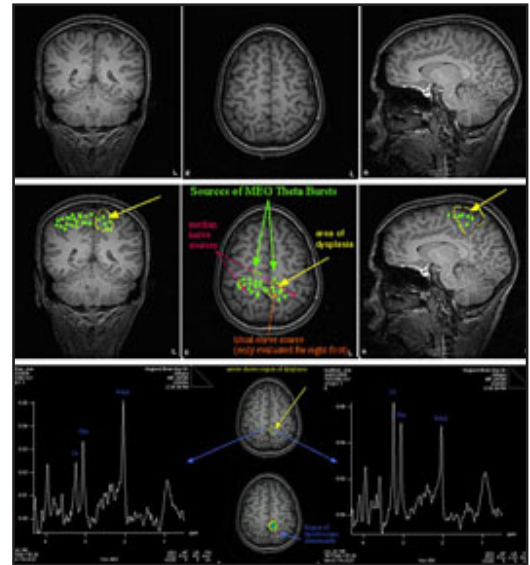


Abb. 22 MR-Spektroskopie

Gadolinium (Gd^{3+})

relative Atommasse	157	Gd
Ordnungszahl	64	

Wirkung: steigert die Relaxationszeit
GFR: 95%
Hepatobiliäre Ausscheidung: 5%
HWZ im Körper: 90min

Nebenwirkungen:
 Kopfschmerzen (8%), Übelkeit (3%),
 allergische Reaktionen (<0,4%)

Abb. 23 Gadolinium(III)-Komplexe, die ältesten und am häufigsten verwendeten MR-Kontrastmittel.

Hepatozytenspezifisch (Gd- oder Mn-Komplexe)

RES-spezifisch (RES = retikuloendotheliales System, Ferumoxide und Ferucarbotran)

Lymphknotenspezifisch (supramagnetische Eisenoxidpartikel, AMI-227, USPIO, MION)

Tumorspezifisch (Metallporphyrine)

Antigenspezifisch (Spacer + Antikörper)

Hyperpolarisierte Gase (Helium3, Xenon129)

Kompartimentfühler (Gd-Lösung)

Abb. 24 Weitere MR-Kontrastmittel

13. Risiken und Nebenwirkungen

Nach dem heutigen Kenntnisstand ist das Magnetfeld beim MRT praktisch unschädlich für den Patienten. Durch die eingestrahlten **Hochfrequenzwellen** können allerdings Metallimplantate wie Prothesen oder Schrauben bis zu einem kritischen Maß erhitzt werden, auch kann es zur Erwärmung des bestrahlten Gewebes kommen. Die Gabe eines Kontrastmittels kann zu allergischen Reaktionen führen.

Ein Problem beim MRT ist zudem die starke **Anziehungskraft** auf Metallgegenstände. Ungesicherte Objekte können so schnell zu tödlichen Geschossen werden. Daher ist es wichtig vor dem Betreten des Untersuchungsraumes sämtlichen Schmuck und andere Metallgegenstände abzulegen. Außerdem beeinflussen die Magnetfelder die Funktion von **Herzschrittmachern**, weshalb diese Patienten auf **keinen** Fall im MRT untersucht werden dürfen!



Abb. 25 Ein Schlüsselbund im Magnetfeld zur Demonstration der dort herrschenden Kräfte



Abb. 26 Warnschild für MRT-Räume

14. Zusammenfassung

Die Magnetresonanztomographie arbeitet mit einem starken Magnetfeld, in dem sich die **Wasserstoffprotonen** im Körper ausrichten. Durch das Einstrahlen eines hochfrequenten Impulses (**Larmorfrequenz**), kippt der resultierende Vektor um **90°** und dreht sich in der **XY-Ebene** und induziert damit eine Spannung in der Empfangsspule. Bei **T1-gewichteten** Messungen (HF-Impulse im kurzen Abstand = kurze **Repetitionszeit**) geben Gewebe mit langem T1(**Relaxation**) weniger Signale ab, bei **T2-gewichteten** Bildern (Messung möglichst lange nach dem HF-Impuls = lange **Echozeit**) erhält man vermehrt das Signal von Geweben mit langem T2 (**Dephasierung**).

Die gemessenen Daten ergeben den **K-Raum**, der erst durch die **Fouriertransformation** zum eigentlichen **Schnittbild** wird. Bei der Kontrastauflösung ist die MRT der CT um den Faktor 10 überlegen.

15. Übungsaufgaben



15.1 Frage 1

Was ist das physikalische Prinzip bei der Magnetresonanz-Tomographie?

1.	Positronen und Elektronen aus dem Zerfall radioaktiver Marker senden bei ihrer Auslöschung messbare Energieimpulse aus, die von einem ringförmigen Messgerät gemessen werden.
2.	Durch ein starkes Magnetfeld ausgerichtete Protonen werden mit einem hochfrequenten Radioimpuls angeregt, wobei ein elektromagnetisches Signal messbar wird.
3.	Ein rotierender Röntgenstrahler mit Detektoren auf der Gegenseite durchleuchtet das zu messende Objekt. Hierbei entstehen 2D Schnittbilder.
4.	Durch den Kernspin von Protonen entstehen spontane, gewebsabhängige Signale im Körper, die von empfindlichen Spulen gemessen werden können.

15.2 Frage 2

Welche Aussage zur MRT trifft zu?

1.	Die MRT liefert Bilder mit einer Kontrastauflösung, die der CT vergleichbar ist.
2.	Die MRT ist ein analoges Schnittbildverfahren.
3.	Die beim MRT gemessenen Kernspinsignale haben eine Frequenz im Röntgenbereich.
4.	Beim MRT hat der Kontrast eines Gewebes, anders als beim Röntgen, nicht unmittelbar etwas mit seiner Dichte zu tun.

15.3 Frage 3

Magnetresonanztomographien zeigen je nach Wichtung unterschiedliche Merkmale. Welche der folgenden Aussagen dazu ist richtig?

1.	Auf einem T1-gewichteten Bild ist Fett dunkler als Wasser.
2.	Liquor erscheint auf einem T1-gewichteten Bild dunkler als das umgebende Gewebe.
3.	Für die Erzeugung eines T1-gewichteten Bildes muss die Echozeit lang gewählt werden.
4.	Für die Erzeugung eines T2-gewichteten Bildes muss die Repetitionszeit kurz gewählt werden.



15.3 Frage 4



Was liegt dem Effekt bei T1-gewichteten Bildern zugrunde?

1.	Bei T1-gewichteten Bildern werden nur Wasserstoffprotonen erregt, bei T2-gewichteten Bildern nur Sauerstoffprotonen.
2.	Die T1-Zeit beschreibt das Dephasieren der Protonen nach dem HF-Impuls, Gewebe, die länger in Phase bleiben, haben somit ein länger messbares Signal.
3.	Nur bereits relaxierte Protonen können neu erregt werden, Gewebe mit langem T1 verlieren somit bei schnellen HF-Impulssequenzen ihr MR-Signal und erscheinen damit dunkel.
4.	T1 und T2 sind die Magnetfeldgradienten der Z- und Y-Achse. Je nach Einbringung ergeben sich andere Kontraste unterschiedlicher Gewebe.

15.1 Frage 5

Welche Aussage über die MRT trifft zu?

1.	Patienten mit Platzangst können auch im Sitzen untersucht werden.
2.	Die ionisierenden Magnetstrahlen schädigen das Erbgut.
3.	Gadolinium(III)-Komplexe wirken als Kontrastmittelgabe stark allergen.
4.	Starke Magnetfelder können die Funktion von Herzschrittmachern beeinflussen

16. Lösungen

Frage 1: Antwort 2. **Erläuterung:** Bei der MRT werden Protonen durch ein starkes Magnetfeld ausgerichtet und mit einem Radioimpuls angeregt, was zum messbaren Signal führt. Positronen und Elektronen aus dem Zerfall radioaktiver Marker kommen beim PET zu Einsatz, rotierender Röntgenstrahler beim CT.

Frage 2: Antwort 4. **Erläuterung:** Der Kontrast beim MRT hängt von der Eigenschaft der Wasserstoffprotonen im Gewebe ab, wie schnell diese dephasieren oder relaxieren. Es handelt sich um ein digitales Schnittbildverfahren mit Frequenzen im Radiowellenbereich (MHz), die Kontrastauflösung ist hierbei 10-mal größer als bei der CT.

Frage 3: Antwort 2. **Erläuterung:** Da die Wasserstoffprotonen vom Liquor langsamer relaxieren als das umliegende Gewebe ist es bei der T1-Gewichtung signalarm (dunkel). In T2-gewichteten Bildern erscheint es dagegen hell!

Frage 4: Antwort 3. **Erläuterung:** Die Relaxationszeit ist die T1-Zeit, in der die Protonen nach dem HF-Impuls sich wieder dem Magnetfeld ausrichten. Erst nach einer zumindest teilweisen Relaxation können sie neu erregt werden. Die Dephasierung nach dem HF-Impuls wird von der T2-Zeit beschrieben.

Frage 5: Antwort 4. **Erläuterung:** Die starken Magnetfelder können die Herzschrittmacherefunktion beeinflussen, weshalb diese Patienten auf keinen Fall im MRT untersucht werden dürfen! Zudem kommt es zu einer starken Anziehungskraft auf Metallgegenstände, wie z.B. frei bewegliche Stühle. Gadolinium wird in der Regel durch eine geringe Dosierung gut vertragen.



17. Quellenangaben



1. Dominik Weishaupt, Victor D. Köchli, Borut Marincek, **“Wie funktioniert MRI?”**, Springer-Verlag 2003, 4. Auflage
2. Günter Sturm , **“Die spinnen, die Kerne”**, ScienceUp Sturm und Bomfleur GbR, November/Dezember 2003
3. Boris Keil, **“Kleintier-Spulenentwicklung bei 1.5 Tesla”** Powerpoint, Universität Marburg 2005
4. Marcus Settles , **“Physik der MRT I”**, Institut für Röntgendiagnostik, Klinikum rechts der Isar der TU München
5. **“Praktikum Energietechnik: Magnetismus”**, Universität Ulm, 2005
6. Grigori Zagalski, **“Proseminar SS 2004 - Informatik in der Medizin”**, Magnet – Resonanz – Tomographie, Universität Karlsruhe 2003
7. Felix Breuer, **“Darstellung von Oxygenierungs- und Perfusionsänderungen in Tumoren mittels MRT”**, Lehrstuhl für Experimentelle Physik V Prof. Dr. Axel Haase, Würzburg, Dezember 2001

Zeichnungen, Photos und Coverdesign:

Christoph Sebastian Pabst

Universitätsklinikum Gießen und Marburg (MRT-Bilder)

1. Auflage: April 2006

Alle Rechte vorbehalten

© C.S.Pabst, Marburg 2006

Bei Kritik und Anregungen schreiben Sie bitte eine Mail an: cspabst@web.de

